

RECUEIL DES TRAVAUX DIRIGES CORRIGES

TRAVAUX DIRIGES N°1

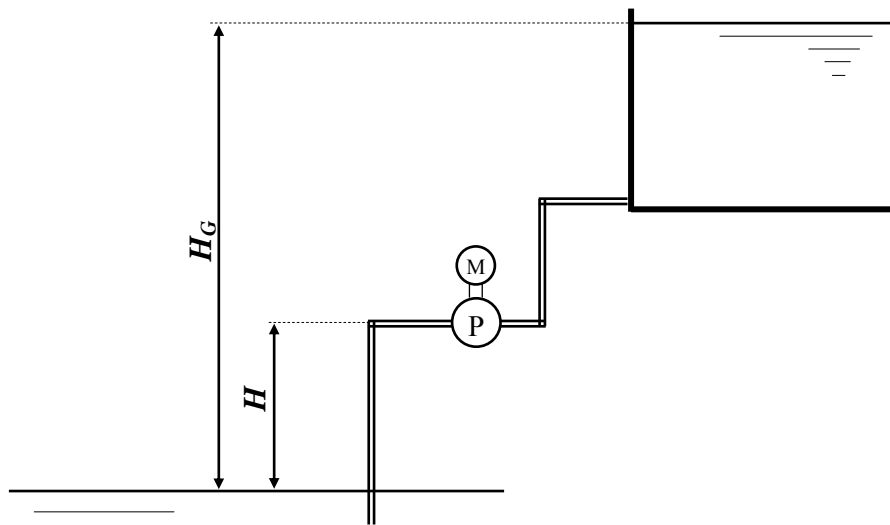
Les circuits de transport de liquide

* Exercice 1:

- On considère le circuit de transport d'eau d'un barrage à un réservoir de stockage (voir figure ci-dessous).
- La pompe doit assurer un débit $Q_v \geq 22.5 \text{ l/s}$.
- On dispose de deux diamètres de conduite $d_1 = 120\text{mm}$ et $d_2 = 130\text{mm}$.

On supposera :

- Les diamètres à l'aspiration et au refoulement identiques.
- Les coefficients de perte de charge indépendants des diamètres des conduites.



On donne :

- La longueur des conduites : à l'aspiration $l_a = 40\text{m}$, au refoulement $l_r = 190\text{m}$.
- Le coefficient de perte de charge linéaire $\lambda = 0.025$.
- Les coefficients de perte de charge singulière sont donnés par :

A l'aspiration : $K_a = 3.6$

Au refoulement : $K_r = 5$

- La pression de vapeur à la température considérée $p_v = 0.025\text{bar}$ $NPSH_{Réc} = 2\text{mCE}$
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $H = 6.75\text{m}$ et $H_G = 24\text{m}$.

1. Montrer que la hauteur manométrique totale du circuit peut s'écrire sous la forme : $H_{mt} = H_G + \Delta H$ avec $\Delta H = A \cdot Q^2$: (perte de charge).
2. Calculer les paramètres de perte de charge A_1 et A_2 respectivement pour d_1 et d_2 .
3. Les caractéristiques de la pompe sont données dans la tableau ci-dessous.
 - a. Le choix de cette pompe est-il correct ? (Justifiez).
 - b. Déterminer les points de fonctionnement des deux conduites.
4. Quel diamètre faut-il choisir ? (Justifiez).
5. Déterminer la puissance électrique consommée par cette pompe sachant que le rendement du moteur électrique est $\eta_m = 0,9$.

Q(l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$H_m(\text{mCE})$	40	41.7	43	42.7	40.8	37	31.3	24.3	16
$P_{mec}(\text{kW})$	5	6.6	8.5	10.2	12	13.8	15.6	17.4	19.4

* Exercice 2:

Une pompe centrifuge aspire de l'eau à une hauteur géométrique d'aspiration $H_{ga} = 4\text{m}$ et le refoule dans un réservoir à une hauteur géométrique de refoulement $H_{gr} = 16\text{m}$, comme l'indique le schéma ci-dessous.

La conduite d'aspiration de longueur $L_a = 20\text{ m}$ et celle de refoulement de longueur $L_r = 380\text{ m}$ ont le même diamètre $D = 80\text{mm}$. Leur coefficient des pertes de charge régulières est $\lambda = 0,021$ et le coefficient des pertes de charge singulières à l'aspiration est $K_a = 3,25$ et celui au refoulement est $K_r = 5,5$.

Les surfaces libres des réservoirs sont à la pression atmosphérique : $p_{atm} = 1\text{bar}$

La pompe entraînée à 1450 tr/mn, possède les caractéristiques définies par les équations suivantes :

Hauteur manométrique : $H_m = -0,4 Q^2 + 60$

Rendement : $\eta_p = -0,02 Q^2 + 0,25 Q$

Avec H_m la hauteur manométrique en mètre (m) ou mètre Colonne d'Eau (mCE) et Q le débit volumique en litre/s (l/s).

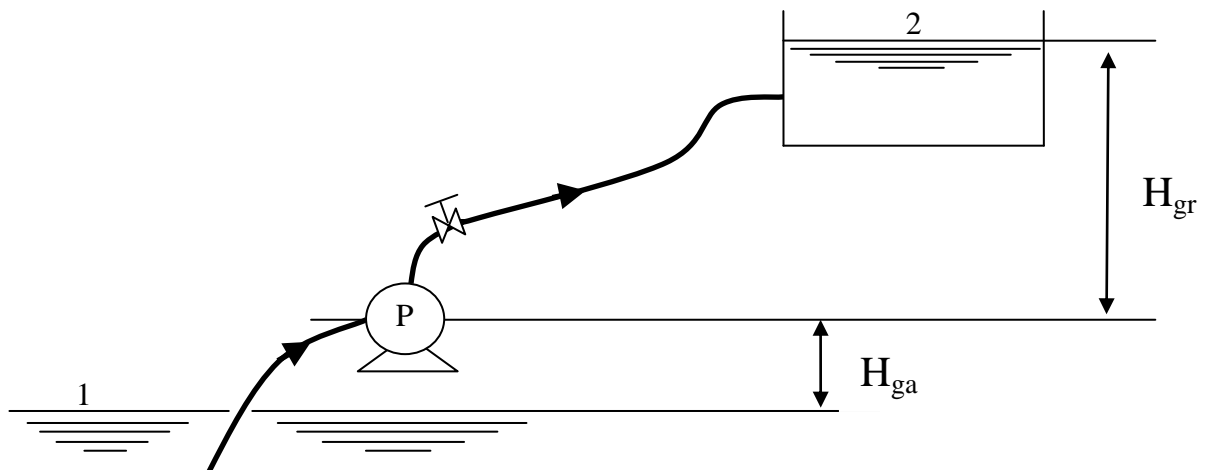
Les caractéristiques de la pompe sont tracées sur papier millimétré.

On donne la masse volumique de l'eau $\rho = 10^3\text{ Kg/m}^3$ et l'accélération de pesanteur $g = 10\text{ m/s}^2$.

- Montrez que l'équation caractéristique de circuit s'écrit sous la forme : $H_m = H_G + A Q^2$. avec : H_m en (m), Q en (l/s), H_G la hauteur géométrique totale et A une constante à déterminer (donner l'expression littérale de A puis la calculer)
- On prendra pour la suite $A = 0,225$ lorsque Q est en (l/s). Calculer les hauteurs manométriques du circuit pour les différents débits du tableau suivant :

Q (l/s)	0	2	4	6	7	8	9	10	11
Hm (mCE)									

- A partir des équations caractéristiques de la pompe et du circuit **ou** graphiquement, déterminer les coordonnées du point de fonctionnement (le débit et la hauteur manométrique de la pompe dans ce circuit).
- Pour le débit de fonctionnement, déterminer à partir de l'équation du rendement **ou** graphiquement le rendement de la pompe, puis calculer la puissance mécanique reçue par la pompe.
- Sachant que la pression absolue de vapeur de l'eau est $p_v = 0,024\text{ bar}$, vérifier la condition de non cavitation pour ce circuit.
- Sachant que le rendement du moteur électrique est $\eta_m = 85\%$, calculer l'énergie électrique en (kwh) consommée pour effectuer le remplissage d'un réservoir de 500 m^3 .



*** Exercice 3:**

Soit un circuit hydraulique utilisé pour le transport du pétrole dans une station pétrolière, à partir des caractéristiques de trois pompes citées ci-dessous, déterminer la pompe adéquate à installer dans ce circuit sachant que la hauteur géométrique de ce circuit est $H_G = 25 \text{ m}$. Justifier votre réponse.

	$H_{m0} \text{ (m)}$	$H_{m1} \text{ (m)}$
Pompe 1	30	20
Pompe 2	35	28
Pompe 3	22	30

Avec H_{m0} la hauteur manométrique de la pompe pour $Q = 0$

et H_{m1} la hauteur manométrique de la pompe correspondante au rendement maximal

*** Exercice 4:**

Pour transporter l'eau d'un barrage à un réservoir ouvert à l'air libre, comme l'indique la figure ci-dessous, on utilise une pompe centrifuge dont les caractéristiques sont données sur la courbe ci-dessous.

On donne : Masse volumique de l'eau $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$

Accélération de pesanteur $g = 10 \text{ m/s}^2$

Pression absolue du vapeur d'eau $p_v = 0.025 \text{ bar}$

Conduite d'aspiration : longueur $L_a = 50 \text{ m}$

Diamètre $D_a = 150 \text{ mm}$

Coefficients des pertes de charge $\lambda_a = 0.025$, $k_a = 3$

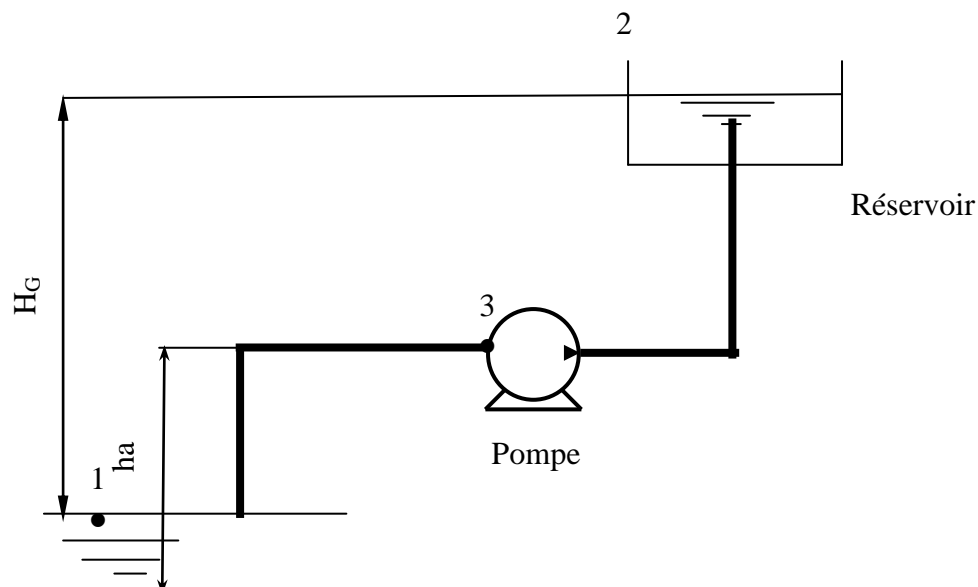
Conduite de refoulement : longueur $L_r = 200 \text{ m}$

Diamètre $D_{r1} = 120 \text{ mm}$ ou $D_{r2} = 150 \text{ mm}$

Coefficients des pertes de charge $k_r = 7$, $\lambda_r = 0.03$ pour D_{r1}

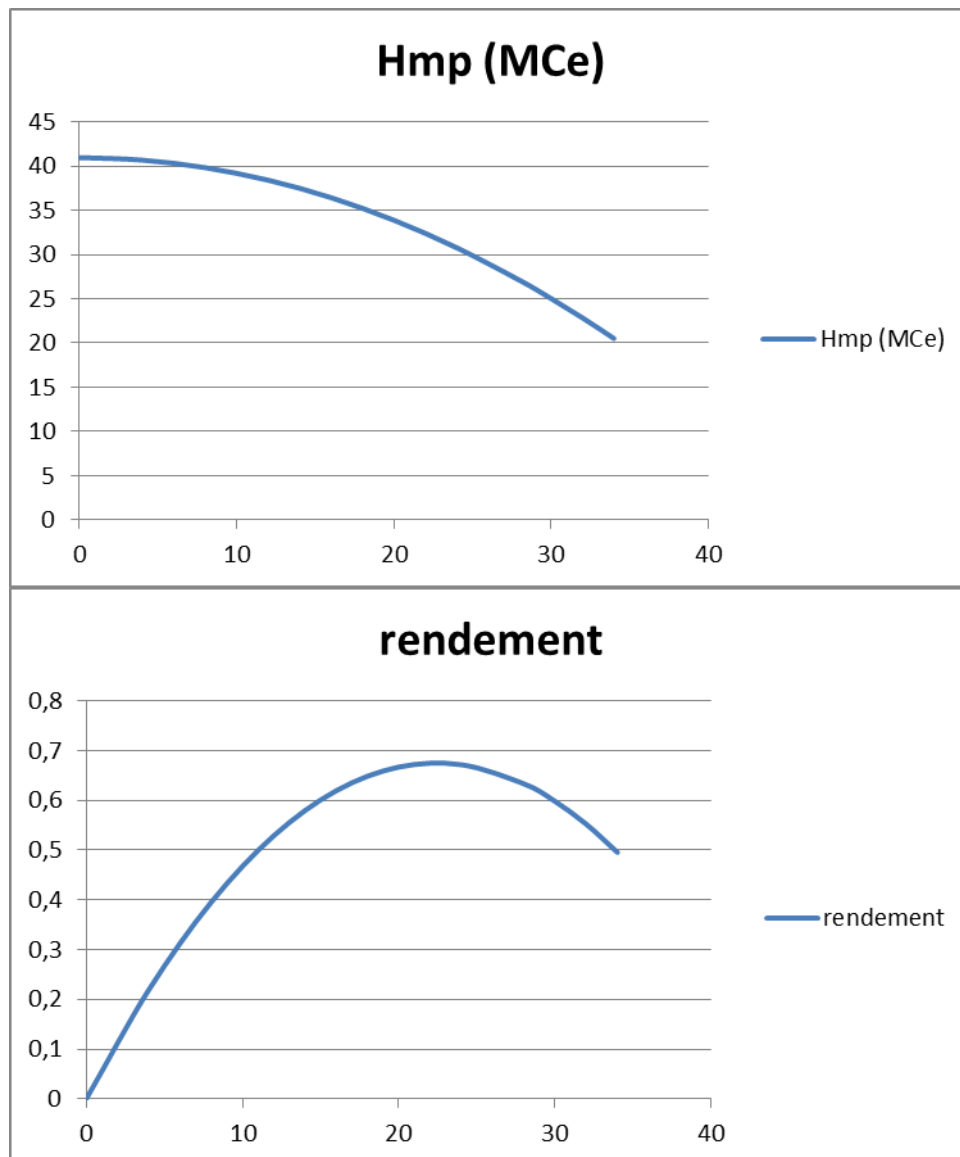
Coefficients des pertes de charge $k_r = 7$, $\lambda_r = \lambda_a = 0.0025$ pour D_{r2}

Hauteur géométrique $H_G = 15 \text{ m}$, hauteur d'aspiration $h_a = 6 \text{ m}$

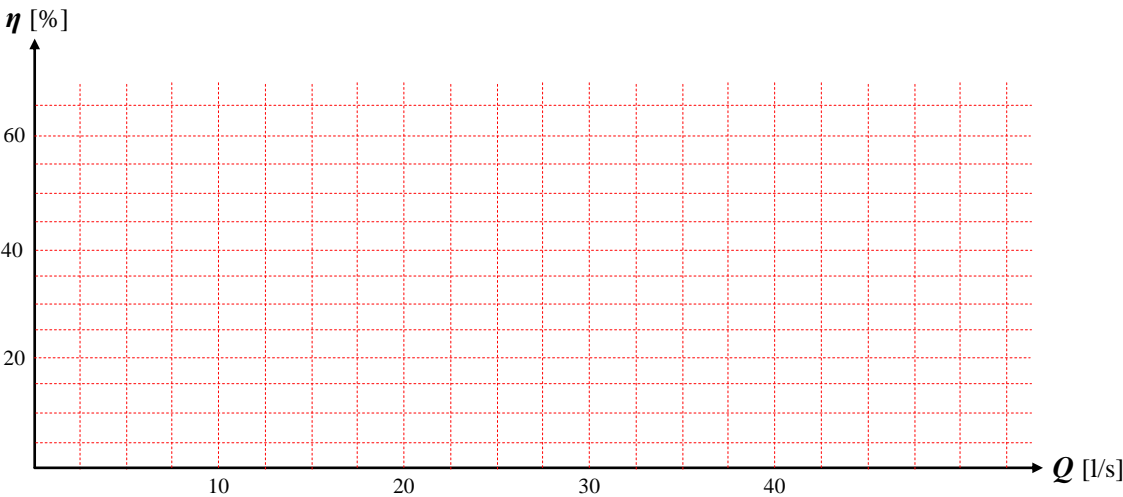
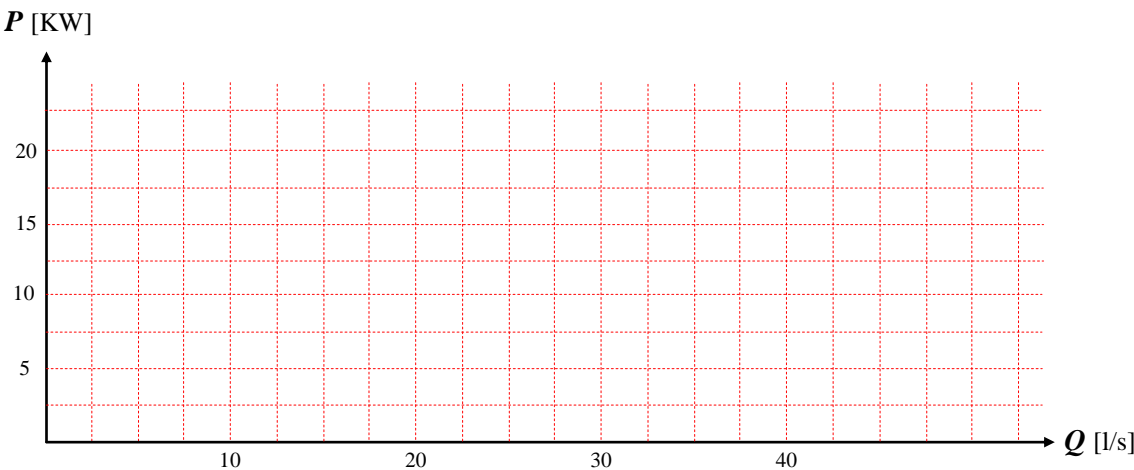
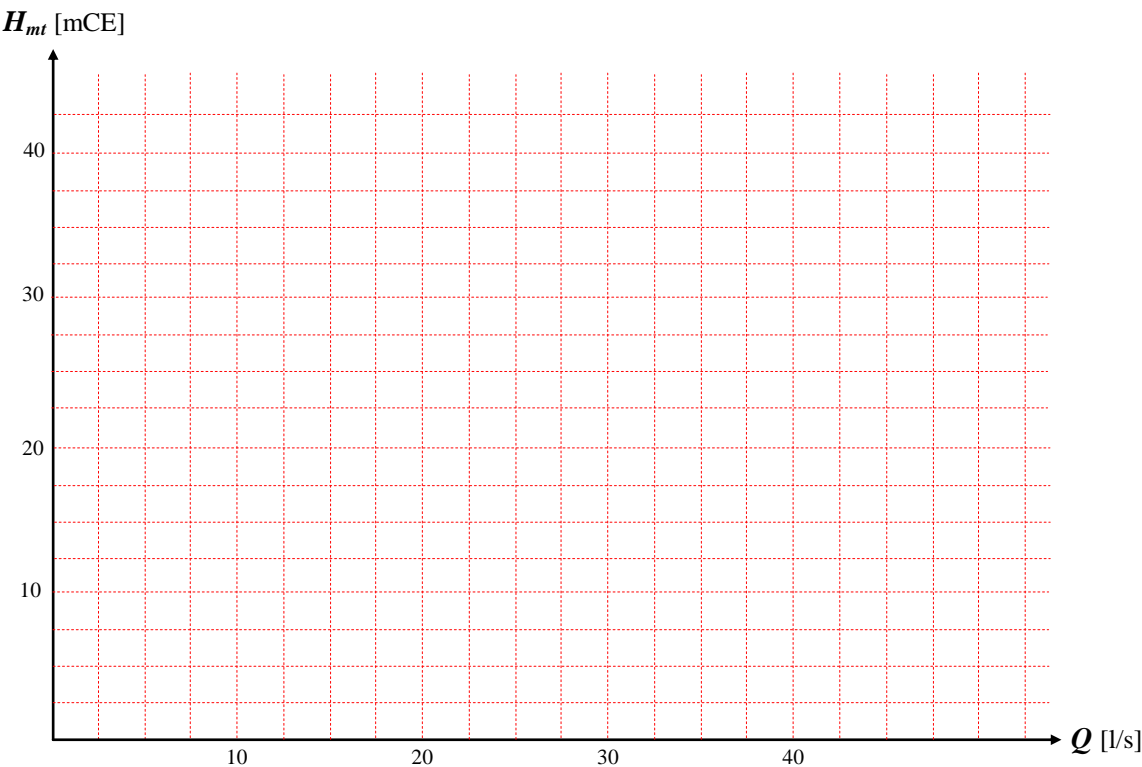


1. Montrer que la hauteur manométrique du circuit peut s'écrire sous la forme : $H_m = H_G + A.Q^2$, donner l'expression littérale de A puis calculer les paramètres A_1 et A_2 respectivement pour les diamètres D_{r1} et D_{r2} lorsque Q en l/s.
2. On prendra $A_1 = 0.02$ et $A_2 = 0.01$ lorsque Q en l/s, Déterminer le point de fonctionnement de la pompe (Q^* , H_m^* , $P_{méca}^*$, η_p^*) pour chaque conduite.

3. Le débit souhaité est de 20 l/s. Quel conduite doit-on choisir (justifier votre choix) ? Pour la conduite choisie, montrer qu'elle peut assurer ce débit Q^* .



Courbes caractéristiques de la pompe



Correction du Travaux Dirigés N°1

* Exercice 1:

1. On a :

$$\frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) + \rho g (Z_2 - Z_1) + p_2 - p_1 = \frac{P_h}{q_v} = \Delta p_{T12}$$

Avec : $V_2 = V_1$, $Z_2 - Z_1 = H_G$, $p_2 = p_1 = p_a$

$$\rightarrow P_g H_g = \frac{P_h}{q_v} - \Delta p_{T12}$$

$$\text{Or } \frac{P_h}{q_v} = \rho \cdot g \cdot H_m$$

$$\rightarrow \rho g H_m = \rho g H_G + \Delta p_{T12}$$

$$\begin{aligned} \text{Où : } \Delta p_{T12} &= \Delta p_{L12} + \Delta p_{S12} \\ &= (ka + kr + \lambda \frac{(La + Lr)}{d}) \frac{V^2 \rho}{2} \end{aligned}$$

$$\text{avec } V = \frac{4 Q_v}{\pi d^2}$$

$$\Delta p_{T2} = (ka + kr + \frac{\lambda(La + Lr)}{d}) \frac{16 Q^2 \rho}{2\pi d^4}$$

$$H_m = H_G + \frac{\Delta p_{T12}}{\rho g}$$

$$H_m = H_G + \Delta H_{12} = H_G + (ka + kr + \lambda \frac{(La + Lr)}{d}) \frac{8 Q^2}{\pi^2 d^4 g}$$

$$\text{D'où } H_m = H_G + A Q^2 \quad (\Delta H_{12} = A Q^2)$$

$$\text{Avec : } A = (ka + kr + \lambda \frac{(La + Lr)}{d}) \frac{8}{\pi^2 d^4 g}$$

Rq : H_m et H_G en m, Q en m^3/s

2.

AN : $ka = 3.5$

$$A_1 \simeq 0,022 \rightarrow H_{m1} = 24 + 0,022 Q^2$$

$$A_2 \simeq 0,015 \rightarrow H_{m2} = 24 + 0,015 Q^2$$

3. a/ Pour répondre à cette question. Il faut tracer $H_m = f(Q)$ et $\eta_p = f(Q)$ de la pompe.

$$\text{On a : } \eta_p = \frac{P_h}{P_m} = \frac{\rho g H_m \cdot Q}{P_m}$$

η_p (%)	0	31,6	50,6	62,8	68	67	60,2	48,9	33
--------------	---	------	------	------	----	----	------	------	----

Q Souhaite > 22,5 l/s.

Q souhaité se trouve au voisinage du rendement maxi et à droite du rendement max le choix de la pompe est correct.

$H_G = 24m$.

$$H_{n0} = 40\text{m} > H_G \rightarrow \text{Bon choix}$$

$$(Q \approx 22,5 \text{ l/s}) \quad H_{m1} = 39 \text{ m} > H_G \rightarrow \text{Bon choix}$$

→ Le choix est correct

$$b/ H_{m1} = 24 + 0,022 Q^2$$

$$H_{m2} = 24 + 0,0015 Q^2$$

❖ **pt de fonction pour d₁ :**

$$Q_1^* \simeq 25 \text{ l/s}$$

$$H_{m1}^* \simeq 25 \text{ m}$$

$$P_{méc1} = 13,8 \text{ kw}$$

$$\eta_{p1}^* = 67\%$$

❖ **pt de fonction pour d₂:**

$$Q_2^* = 27,5 \text{ l/s}$$

$$H_{m2}^* = 33 \text{ m}$$

$$P_{méc2} \simeq 14,17 \text{ kw}$$

$$\eta_{p2}^* = 64\%$$

4. Le débit souhaité $\geq 22,5 \text{ l/s}$

Les deux diamètres donnent un débit $> 22,5 \text{ l/s}$, il faut vérifier la cavitation.

❖ **1^{ère} méthode :**

On calcul la pression absolue à l'entrée de la pompe pour chaque diamètre puis on compare avec p_v .

On a :

$$p_{abs_{entréepompe}} = p_{atm} - \rho g h_a - \frac{1}{2} \rho V^2 (1 + k_a + \lambda_a \frac{L_a}{d_a})$$

• **Pour d₁ :**

$$V_1 = \frac{4Q_{v1}}{\pi d_1^2} \simeq 2,2 \text{ m/s}$$

$$p_{abs1} \simeq 1443 \text{ Pa} = 0,01443 \text{ bar} < p_v$$

• **Pour d₂:**

$$V_2 \simeq 2 \text{ m/s}$$

$$p_{abs2} = 0,08115 \text{ bar} > p_v$$

On prend le diamètre d₂.

❖ **2^{ème} méthode :**

$$NPSH_{disp} = \pm H + \frac{p_r + p_{atm}}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta H_{asp}$$

Pour ce cas la pompe est en aspiration.

$$\rightarrow NPSH_{dis} = -H + \frac{p_r + p_{atm}}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta H_{asp}$$

• **Pour d₁ :**

$$NPSH_{dis} = -6,75 + \frac{10^5}{10^4} - \frac{2400}{10^4} - 3,105$$

$$= -0,0957 \text{ mCE} \cdot 10^4$$

• **Pour d₂:**

$$NPSH_{dis} = -6,75 + \frac{10^5}{10^4} - \frac{2400}{10^4} - 2,438 = 0,571 \text{ mCE} > 0,2 \text{ mCE}$$

→ On prend le diamètre d₂.

$$5. P_e = \frac{P_{m2}}{\eta_m}$$

$$\text{AN : } \varphi_e = 15,74 \text{ kw}$$

* Exercice 2:

1. Théorème de Bernoulli entre les points 1 et 2 :

$$\frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) + \rho g (Z_2 - Z_1) + p_2 - p_1 = \frac{P_h}{q_v} - \Delta p_{T12}$$

$$\text{Avec : } V_2^2 = V_1^2 = 0 \text{ m/s}$$

$$p_2 = p_1 = p_{atm}$$

$$Z_2 - Z_1 = H_G = H_{gr} + H_{ga}$$

$$\rho g H_G = \frac{P_h}{q_v} - \Delta p_{T12}$$

$$\rho g H_G = \frac{q_v \cdot \rho g \cdot H_m}{q_v} - \Delta p_{T12}$$

$$\text{Où : } \Delta p_{T12} = \Delta p_{S12} + \Delta p_{L12} = (k_r + k_a) \frac{\rho V^2}{2} + (\lambda_r + \lambda_a) \frac{\rho V^2 L}{2D}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$\Delta p_{T12} = [(k_r + k_a) + (\lambda_r + \lambda_a) \frac{L}{D}] \frac{8Q^2 \rho}{(\pi D^2)^2}$$

$$(L = L_r + L_a)$$

$$f g H_G = f g H_m - [k_r + k_a + (\lambda_r + \lambda_a) \frac{L}{D}] \frac{8f Q^2}{(\pi D^2)^2}$$

$$H_m = H_G + \left[k_r + k_a + (\lambda_r + \lambda_a) \frac{L}{D} \right] \frac{8}{(\pi D^2)^2 g} \cdot Q^2$$

On pose :

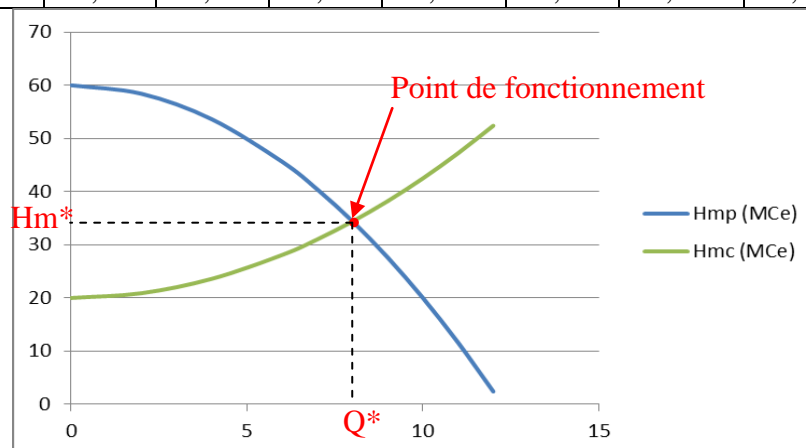
$$A = \left[k_r + k_a + (\lambda_r + \lambda_a) \frac{L}{D} \right] \frac{8}{(\pi D^2)^2 g}$$

$$\text{D'où : } H_m = H_G + A Q^2 \text{ avec } Q \text{ en l/s}$$

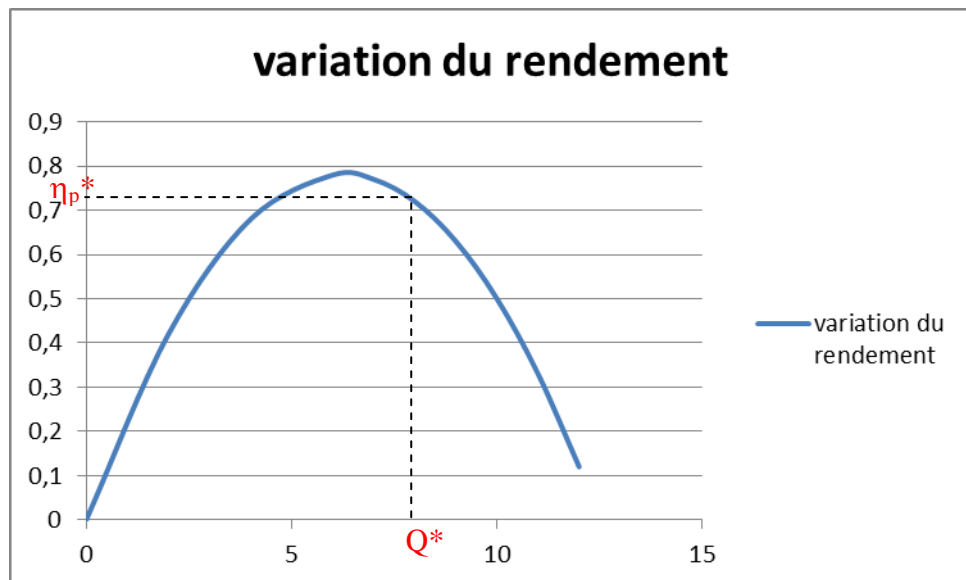
$$\text{AN : } A = 0,225331 \text{ lorsque } Q \text{ en l/s.}$$

$$2. H_m = H_g + 0,225 Q^2 = 20 + 0,225 Q^2$$

Q (L/s)	0	2	4	6	7	8	9	10	11
H _m (mce)	20	20,9	23,6	28,1	31,02	34,4	38,22	42,5	47,22



Variation de la hauteur manométrique en fonction du débit



$$3. \begin{cases} H_m^* = 20 + 0,225 Q^{*2} = 60 - 0,4 Q^{*2} \\ H_m^* = 60 - 0,4 Q^{*2} \\ Q^* = \sqrt{\frac{40}{0,625}} = 8 \text{ L/s} \\ H_m^* = 34,4 - 0,4 \text{ mCE} \end{cases}$$

$$4. \eta_p^* = -0,02 Q^{*2} + 0,25 Q^*$$

$$\text{AN : } \eta_p^* = 72 \%$$

$$\eta_p^* = \frac{P_h^*}{P_m}$$

$$P_m = \frac{P_h^*}{\eta_p^*} = \frac{\rho g H_m^* Q^*}{\eta_p^*}$$

$$\text{AN : } \varphi_m = 3822,22 \text{ W} = 3,822 \text{ KW}$$

5. On a :

$$p_{absentrées pompe} = p_{atm} - \rho g h_{ga} - \frac{1}{2} \rho V^2 \left(1 + k_a + \frac{\lambda_a L_a}{d_a} \right)$$

$$\text{Avec : } V = \frac{4Q^*}{\pi d_a^2}$$

AN :

$$p_{absentrées pompe} = 0,599 \text{ bar} > 0,024 \text{ bar}$$

Donc on n'a pas de risque de cavitation.

$$6. P_e = \frac{P_m}{\eta_m} \rightarrow W_{ec} = P_e \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\vartheta}{Q^*}$$

$$W_{ec} = \frac{P_m}{\eta_m} \cdot \frac{\vartheta}{Q^*}$$

AN : $W_{sc} = 78,063 \text{ kwh}$

* Exercice 3:

La pompe 2 est la pompe adéquate car :

$$\begin{cases} H_{m0(P2)} > H_G \\ \text{et} \\ H_{m1(P2)} > H_G \end{cases}$$

* Exercice 4:

1. Appliquons le théorème de Bernoulli entre les deux points (1) et (2) :

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + H_m = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \Delta H_{1,2}$$

$$\text{Or : } v_1 = v_2 = 0, \quad p_1 = p_2 = p_{atm} \quad \text{et} \quad z_2 - z_1 = H_G$$

$$\text{Donc : } H_m = H_G + \Delta H_{1,2} \quad \text{avec} \quad \Delta H_{1,2} = \Delta H_{\text{Aspiration}} + \Delta H_{\text{refoulement}}$$

$$\Delta H_{\text{aspiration}} = \left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a \right) \cdot \frac{v_a^2}{2g} \quad \text{et} \quad \Delta H_{\text{refoulement}} = \left(\lambda_r \frac{L_r}{D_r} + k_r \right) \cdot \frac{v_r^2}{2g}$$

$$\text{on a : } Q = v_a \cdot S_a = v_r \cdot S_r \quad \text{et} \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$\Rightarrow \text{Donc : } \Delta H = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \left[\left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a \right) \cdot \frac{1}{D_a^4} + \left(\lambda_r \frac{L_r}{D_r} + k_r \right) \cdot \frac{1}{D_r^4} \right] \cdot Q^2$$

$$\text{d'où ; } H_m = H_G + A \cdot Q^2 \quad \text{avec : } A = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \left[\left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a \right) \cdot \frac{1}{D_a^4} + \left(\lambda_r \frac{L_r}{D_r} + k_r \right) \cdot \frac{1}{D_r^4} \right]$$

$$\text{A.N : } A_1 = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \left[\left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a \right) \cdot \frac{1}{D_a^4} + \left(\lambda_r \frac{L_r}{D_{r1}} + k_r \right) \cdot \frac{1}{D_{r1}^4} \right] = 24100$$

$$A_2 = \frac{8}{\pi^2 \cdot g \cdot D_a^4} \left(\lambda_a \frac{L_a + L_r}{D_a} + k_a + k_r \right) = 8272$$

$$\text{Lorsque } Q \text{ en l/s : } \underline{A_1 = 0.024} \quad \text{et} \quad \underline{A_2 = 0.008}$$

2. Tableau de mesure lorsque la conduite de refoulement est D_{r1} : $H_m = 15 + 0.02 \cdot Q^2$

Q	0	10	20	25	30
H_m	15	17	23	27.5	33

$$Q^* = 26 \text{ l/s} ; \quad H_m = 29 \text{ m} ; \quad \eta_p = 66 \%$$

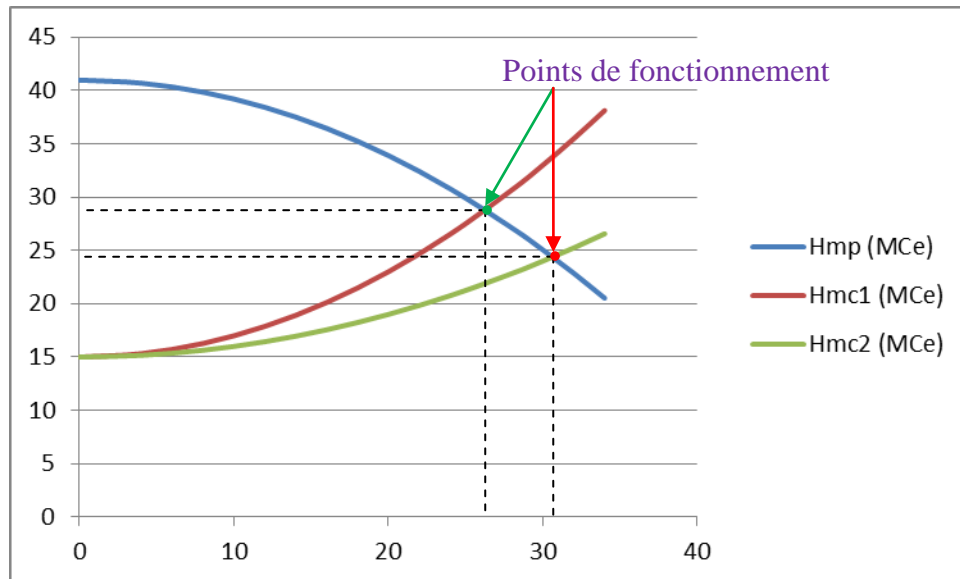
$$P_{mec} = \frac{P_{hyd}}{\eta_p} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_m^* \cdot Q}{\eta_p} = 11424 \text{ W}$$

– Tableau de mesure lorsque la conduite de refoulement est D_{r2} : $H_m = 15 + 0.01 \cdot Q^2$

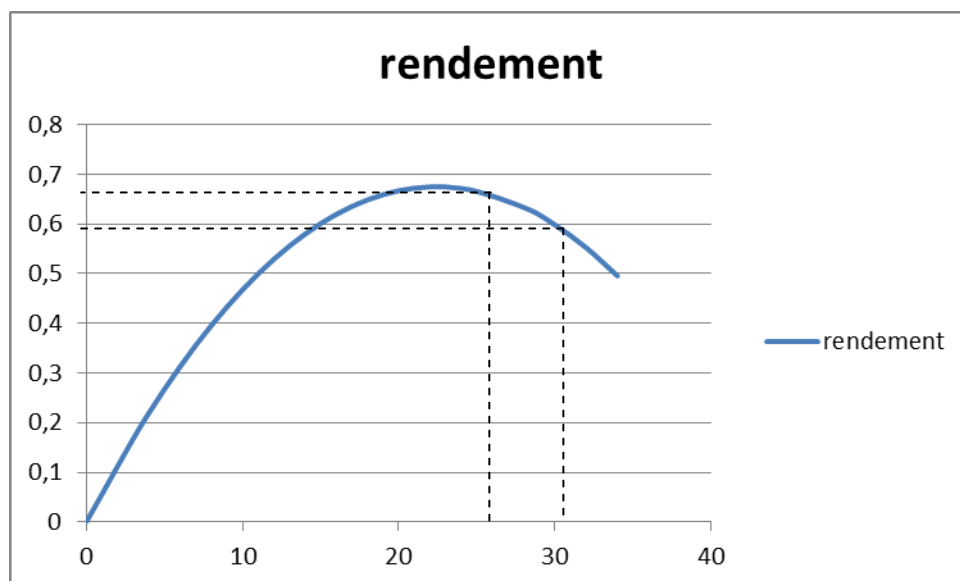
Q	0	10	20	30	40
H_m	15	16	19	24	31

$$Q^* = 30.5 \text{ l/s} ; \quad H_m = 24.5 \text{ m} ; \quad \eta_p = 59 \%$$

$$P_{mec} = \frac{P_{hyd}}{\eta_p} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_m^* \cdot Q}{\eta_p} = 12665 \text{ W}$$



Variation de la hauteur manométrique en fonction du débit



3. Choix de conduite :

Les deux conduites nous permettent d'obtenir le débit souhaité, donc on choisit la conduite de diamètre $D_{r1} = 120 \text{ mm}$ parce que $\eta_p(D_{r1}) > \eta_p(D_{r2})$

Pour que la pompe puisse assurée le débit $Q^* = 26 \text{ l/s}$, il faut que la pression à l'aspiration soit supérieure à la tension du vapeur d'eau.

Appliquons le théorème de Bernoulli entre les points (1) et (3) :

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = z_3 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\rho \cdot g} + \Delta H_{1,3}$$

$$\text{Or : } v_1 = 0 ; \quad p_1 = p_{atm} ; \quad z_3 - z_1 = h_a ; \quad v_3 = \frac{4 \cdot Q^*}{\pi D_a^2} ; \quad p_3 = p_{asp}$$

$$\text{et } \Delta H_{\text{aspiration}} = \left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a \right) \cdot \frac{v_a^2}{2g}$$

$$p_{asp} = p_{atm} - \rho \cdot g \left[h_a + \left(\lambda_a \frac{L_a}{D_a} + k_a + 1 \right) \cdot \frac{v_3^2}{2g} \right]$$

A.N : $p_{asp} = 15600 \text{ Pa} = 0.156 \text{ bar}$

On à : $p_{asp} > p_v$ donc la pompe peut assurée le débit $Q^* = 26 \text{ l/s}$.

TRAVAUX DIRIGES N°2

Les pompes volumétriques

* Exercice 1:

Une machine à commande hydraulique fonctionne à un débit d'huile de 3L/s et une pression de 120 bars. L'huile est aspirée d'un réservoir à la pression atmosphérique considérée égale à 1bar. Deux pompes sont disponibles :

Pompe A : pompe à 3 pistons radiaux de diamètre 40 mm et de course 30 mm et ayant un rendement volumétrique $\eta_{vol} = 0,88$ et un rendement mécanique $\eta_{mec} = 0,85$.

Pompe B : pompe à engrenages extérieurs avec 30 dents sur chaque pignon, de largeur $b=40$ mm et un module de 3mm. Son rendement volumétrique est $\eta_{vol} = 0,95$ et son rendement mécanique est $\eta_{mec} = 0,90$.

Le débit moyen d'une pompe à engrenages extérieurs est donné par la relation :

$$Q_{vmoy} = b \cdot \omega \cdot m^2 \cdot Z \quad [m^3/s]$$

Dans le but de choisir une pompe et un moteur d'entraînement, les paramètres suivants doivent être déterminés :

1. La cylindrée de chaque pompe.
2. La puissance hydraulique à fournir.
3. La puissance mécanique nécessaire pour chaque pompe.
4. La vitesse de rotation d'entraînement de chaque pompe en tr/mn.
5. Le couple nécessaire pour l'entraînement de chaque pompe.
6. Les moteurs électriques disponibles sont : M1 (44KW, 1440 tr/mn), M2 (48KW, 2500tr/mn), M3 (45KW, 3000tr/mn). Choisir une pompe et un moteur pour cette machine hydraulique. Justifier votre choix.
7. Calculer le débit réel qui sera fourni à la machine suite à votre choix.
8. En déduire le type de la composante à installer pour avoir un débit de 3l/s.
9. Calculer la pression de service de la machine.
10. En déduire le type du composant à installer pour avoir une pression de 120 bars.

* Exercice 2:

Dans une manufacture de papier on désire transférer un mélange pâteux entre deux stations de traitement à un débit massique important allant à 8000kg/h. trois types de pompes ont été suggérées dont les caractéristiques sont les suivantes :

Type de pompe	Cylindrée	Δp max	N(tr/mn)	η_g
à vis	70 cm ³ /tr	5 bar	2000	0,82
à palette	0,05 L/tr	15 MPa	1950	0,85
à pistons axiaux	8.10 ⁻⁵ m ³ /tr	120 bar	1500	0,90

Sachant que la masse volumique de la pâte est $\rho = 0,95g/cm^3$

1. Choisir la pompe qui convient le mieux pour l'application (justifier votre choix par le calcul).
2. Calculer la puissance fournie à l'arbre d'entraînement de la pompe P_m (W).
3. Décrire brièvement le fonctionnement de la pompe choisie.

* Exercice 3:

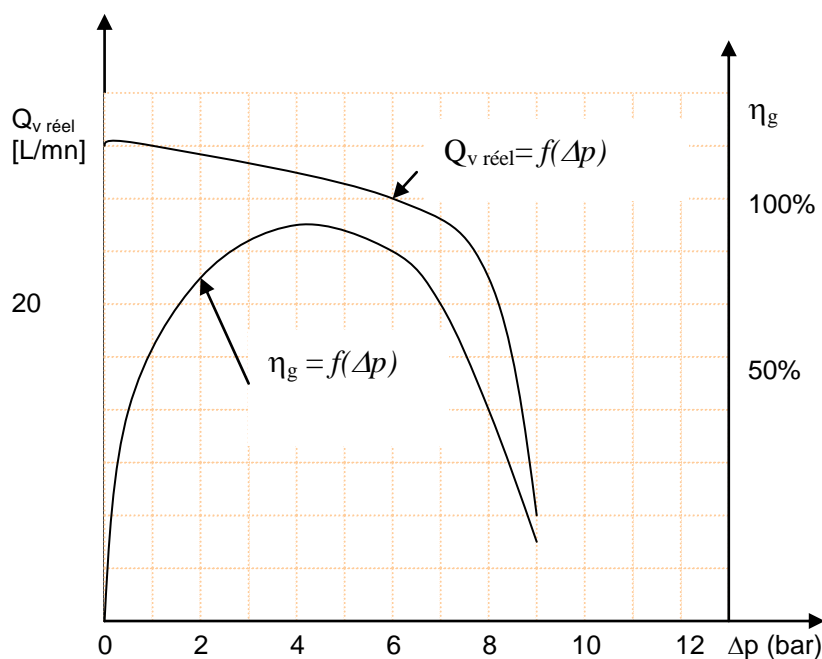
Une machine à commande hydraulique est équipée d'une pompe à pistons radiaux, débite réellement 2,58 L/s pour une pression de service de 145 bar. La pompe est entraînée par un moteur électrique asynchrone ayant une fréquence de rotation de 1440 tr/mn et une puissance mécanique de 48 KW.

1. Représenter schématiquement la pompe.
2. Expliquer son principe de fonctionnement.
3. Sachant que la pompe à 3 pistons ayant un diamètre de 38,52 mm et une course de 32,4 mm. Déterminer :
 - a. La cylindrée de la pompe en $[\text{cm}^3]$.
 - b. Le débit moyen théorique en $[\text{L}/\text{mn}]$.
 - c. La puissance de refoulement en $[\text{KW}]$.
 - d. Le rendement global en $[\%]$.
 - e. Les rendements, volumétrique et mécaniques en $[\%]$.

* Exercice 4:

La figure ci-dessous représente le résultat d'un essai d'une pompe à engrenages de cylindrée $21,3 \text{ cm}^3/\text{tr}$ et tournant à $900 \text{ tr}/\text{mn}$. On demande :

1. En adoptant comme critère de performance le rendement global maximum, déterminer :
 - a. Le débit réel optimum $Q_{V \text{ réel}}$ en $[\text{L}/\text{mn}]$.
 - b. La pression de refoulement optimum P_{ref} en $[\text{bar}]$ sachant que la pression d'aspiration $P_{\text{asp}} = -0,3 \text{ bar}$.
2. Calculer le débit théorique Q_{th} en $[\text{L}/\text{mn}]$.
3. Calculer le rendement volumétrique η_{vol} et en déduire le rendement mécanique.
4. Calculer le couple utile pour la pompe.
5. Calculer la puissance nécessaire à la pompe.



Correction du Travaux Dirigés N°2

* Exercice 1:

1. + Pompe A :

$$\text{Cylindrée : } Cyl = n.c. \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{AN : } Cyl = 3 \times 3 \times \frac{\pi 4^2}{4} = 113 \text{ cm}^3$$

+ Pompe B :

$$\text{Cylindrée : } Cyl = \frac{Q_{vmoy}}{N} = \frac{b.\omega.m^2.Z}{\frac{\omega}{2\pi}} = 2\pi.b.m^2.Z \quad \text{AN : } Cyl = 2\pi \times 4 \times 0,3^2 \times 30 = 67,8 \text{ cm}^3$$

2. La puissance hydraulique à fournir par chacune des deux pompes est :

$$P_h = (p_s - p_e)Q_{vmoy}$$

$$\text{AN : } P_h = (120 - 1).10^5.3.10^{-3} = 35700 \text{ W}, \quad P_h = 35,7 \text{ KW}$$

3. La puissance mécanique P_m :

$$\eta_g = \frac{P_h}{P_m} \Rightarrow P_m = \frac{P_h}{\eta_g}$$

AN :

$$+ \text{ Pompe A : } P_m = \frac{35,7}{0,88 \times 0,85} = 47,7 \text{ KW}$$

$$+ \text{ Pompe B : } P_m = \frac{35,7}{0,95 \times 0,9} = 41,75 \text{ KW}$$

4. Vitesse de rotation N :

$$Q_{vmoy} = Cyl.N \Rightarrow \frac{Q_{vmoy-r}}{\eta_v} = Cyl.N \quad \Rightarrow N = \frac{Q_{vmoy-r}}{\eta_v.Cyl}$$

AN :

$$+ \text{ Pompe A : } N = \frac{3.10^3}{113 \times 0,88} = 1810 \text{ tr / mn}$$

$$+ \text{ Pompe B : } N = \frac{3.10^3}{67,8 \times 0,95} = 2800 \text{ tr / mn}$$

5. Le Couple C :

$$P_m = C.\omega = C.2\pi.N/60 \quad \Rightarrow C = \frac{60.P_m}{2\pi.N}$$

AN :

$$+ \text{ Pompe A : } C = \frac{60 \times 47700}{2\pi.1810} = 251,7 \text{ Nm}$$

$$+ \text{ Pompe B : } C = \frac{60 \times 41750}{2\pi.2800} = 142 \text{ Nm}$$

6. On peut choisir pour la pompe A avec le moteur M2.

Comme on peut choisir la pompe B avec le moteur M3

7. Le débit réelle $Q_{V_{moy r}}$:

$$Q_{V_{moy r}} = Cyl.N$$

AN :

+ Pompe A et moteur M2:

$$Q_{V_{moy r}} = 0,113 \times 2500 = 282,5 \text{ L/mn}$$

$$Q_{V_{moy r}} = 4,7 \text{ L/s}$$

+ Pompe B et moteur M3:

$$Q_{V_{moy r}} = 0,0678 \times 3000 = 203,4 \text{ L/mn}$$

$$Q_{V_{moy r}} = 3,39 \text{ L/s}$$

8. On doit ajouter un régulateur de débit

9. Suite aux choix des moteurs ci-dessus, la puissance hydraulique doit être recalculée.

$$P_h = \eta_g \cdot P_m \rightarrow Q_{V_{moy r}} \cdot \Delta p = \eta_g \cdot P_m$$

AN :

+ Pompe A et moteur M2:

$$\Rightarrow \Delta p = \frac{\eta_g \cdot P_m}{Q_{V_{moy r}}} = \frac{0,88 \times 0,85 \times 48000}{3 \times 10^{-3}} = 11968000 \text{ Pa} = 119,68 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow p_s = p_e + \Delta p = 120,68 \text{ bar}$$

+ Pompe B et moteur M3:

$$\Delta p = \frac{\eta_g \cdot P_m}{Q_{V_{moy r}}} = \frac{0,95 \times 0,9 \times 45000}{3 \times 10^{-3}} = 12825000 \text{ Pa} = 128,25 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow p_s = p_e + \Delta p = 129,25 \text{ bar}$$

10. On doit placer un limiteur de pression taré à 120bar

* Exercice 2:

1. Choix d'une pompe :

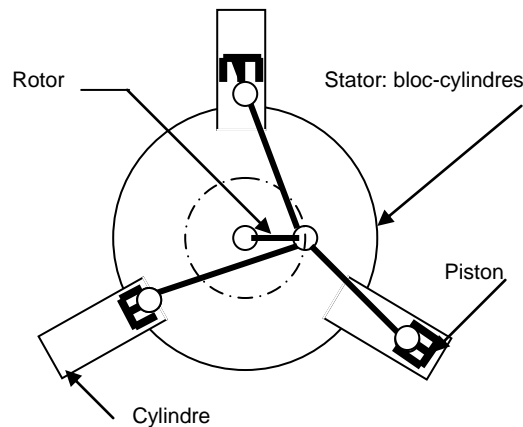
Pompe à vis	Pompe à palette	Pompe à pistons
Le débit volumique : $Q_v = Cyl.N$ $= 70.10^{-6} \cdot 2000/60$ $= 2,33.10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Le débit volumique : $Q_v = Cyl.N$ $= 0,05.10^{-3} \cdot 1950/60$ $= 1,625.10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Le débit volumique : $Q_v = Cyl.N$ $= 8.10^{-5} \cdot 1500/60$ $= 2.10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
Le débit massique : $Q_m = \rho \cdot Q_v$ $= 0,95 \cdot (10^{-3}/10^{-6}) \cdot 2,33.10^{-3}$ $= 2,216 \text{ Kg/s}$ $= \mathbf{7980 \text{ Kg/h}}$	Le débit massique : $Q_m = \rho \cdot Q_v$ $= 0,95 \cdot (10^{-3}/10^{-6}) \cdot 1,625.10^{-3}$ $= 1,543 \text{ Kg/s}$ $= \mathbf{5557,5 \text{ Kg/h}}$	Le débit massique : $Q_m = \rho \cdot Q_v$ $= 0,95 \cdot (10^{-3}/10^{-6}) \cdot 2.10^{-3}$ $= 1,9 \text{ Kg/s}$ $= \mathbf{6840 \text{ Kg/h}}$

2. La puissance mécanique :

$$\eta_g = \frac{P_h}{P_m} \Rightarrow P_m = \frac{\Delta p \cdot Q_v}{\eta_g}$$

$$AN : P_m = \frac{120.10^5 \times 2,33.10^{-3}}{0,9} = 31066 \text{ W} = 31 \text{ KW}$$

3. Deux vis dont l'une est motrice tournent en sens inverse, créant ainsi d'un côté une zone d'aspiration et de l'autre une zone de refoulement.

* Exercice 3:**1. Schéma d'une pompe à pistons radiaux :****2. Principe de fonctionnement :**

Le rotor (vilebrequin) est entraîné en rotation par un moteur électrique et par un système bielle manivelle cette rotation se transforme en translation alternative des pistons permettant ainsi d'aspirer et de refouler l'huile en lui accordant une puissance hydraulique (Q_v , Δp).

3.

a. La cylindrée : $Cyl = n.c. \frac{\pi d^2}{4}$ AN : $Cyl = 3 \times 3,24 \times \frac{\pi 3,852^2}{4} = 113,2 cm^3$

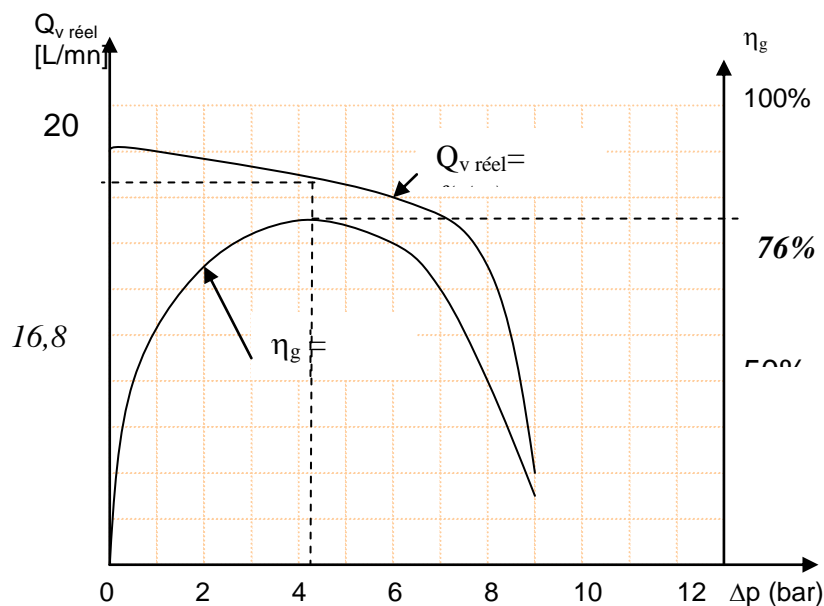
b. $Q_v = Cyl.N$ AN : $Q_v = 113,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1440 = 163 L/mn.$

c. $P_{h\text{ réelle}} = Q_v \text{ réel} \cdot \Delta p$ AN : $P_{h\text{ réelle}} = 2,58 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 10^5 = 37410 W = 37,41 KW.$

d. $\eta_g = \frac{P_{h\text{ réelle}}}{P_m}$ AN : $\eta_g = \frac{37,41}{48} = 0,779 = 77,9\%$

e. $\eta_v = \frac{Q_{v\text{ réelle}}}{Q_v}$ AN : $\eta_v = \frac{2,58 \times 60}{163} = 0,949 = 94,9\%$

$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_m \Rightarrow \eta_m = \frac{\eta_g}{\eta_v}$ AN : $\eta_m = \frac{77,9}{94,9} = 0,82 = 82\%$

* Exercice 4:

1. D'après la courbe, le point de fonctionnement optimal correspond à :
 - a. un débit : $Q_{v \text{ opt}} = 16,8 \text{ L/mn.}$
 - b. $\Delta p = 4,3 \text{ bar} \Rightarrow p_{\text{ref}} - p_{\text{asp}} = 4,3 \Rightarrow p_{\text{ref}} = 4,3 + (-0,3) = 4 \text{ bar.}$
2. $Q_v = Cyl.N = 21,3 \cdot 10^{-3} \cdot 900 = 19,17 \text{ L/mn.}$
- 3.

$$\eta_v = \frac{Q_{v \text{ réel}}}{Q_v} = \frac{16,8}{19,17} = 0,876 = 87,6\%$$

$$\eta_m = \frac{\eta_g}{\eta_v} = \frac{76}{87,6} = 0,867 = 86,7\%$$

4.

$$P_m = \frac{P_h}{\eta_g} \Rightarrow C.\omega = \frac{Q_{v \text{ réel}}.\Delta p}{\eta_g} \Rightarrow C = \frac{\eta_v.Q_v.\Delta p}{2\pi N.\eta_v.\eta_m}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\eta_v.Cyl.N.\Delta p}{2\pi.N.\eta_v.\eta_m} \Rightarrow C = \frac{Cyl.\Delta p}{2\pi.\eta_m}$$

$$AN : C = \frac{21,3 \cdot 10^{-6} \times 4,3 \cdot 10^5}{2\pi \times 0,867} = 1,68 \text{ Nm}$$

5. $P_m = C.\omega = C.2\pi.N/60$
 AN: $P_m = 1,68 \cdot 2\pi \cdot 900/60 = 158,25 \text{ W}$

TRAVAUX DIRIGES N°3

Les circuits de transmission de puissance

*** Exercice 1:**

Soit le circuit hydraulique ci-dessous.

Fonctionnement :

L'appui sur le bouton poussoir **m** (non représenté) excite la bobine **c**.

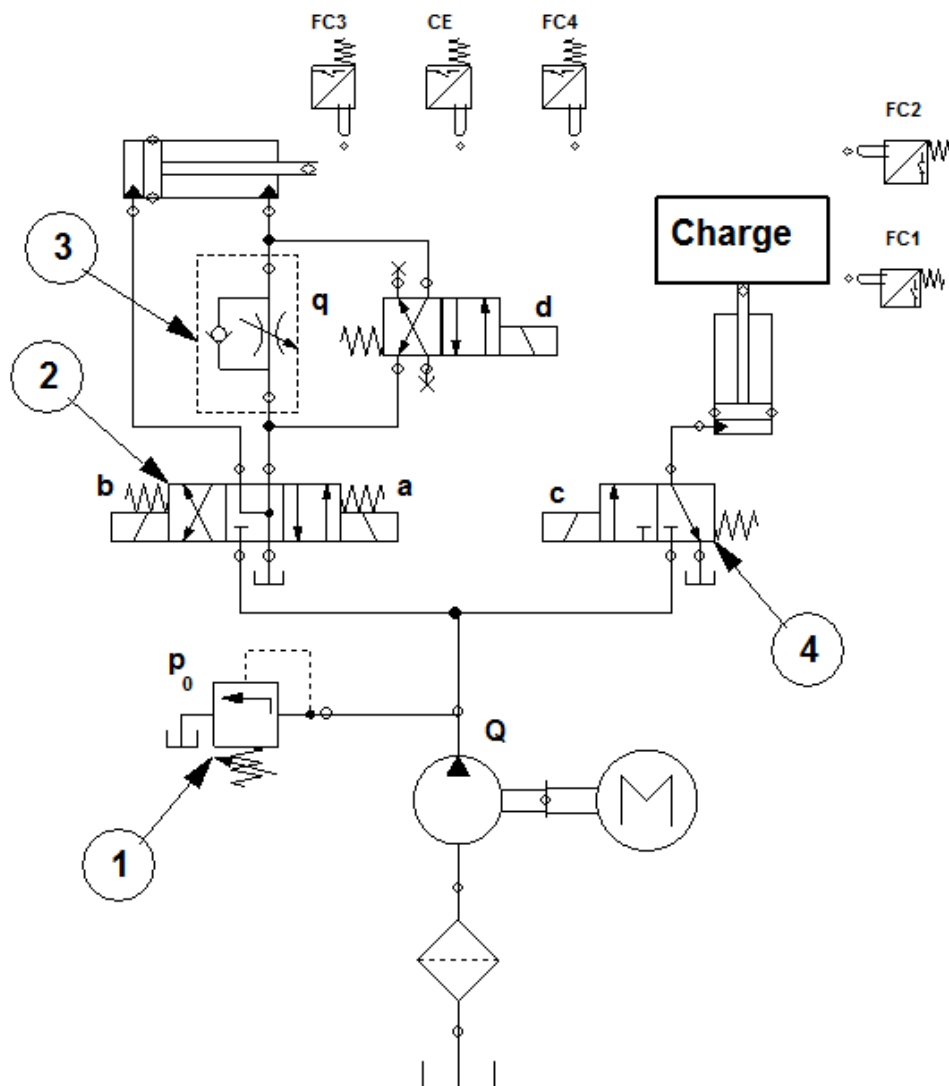
FC2 désexcite la bobine **c**.

FC1 excite la bobine **a**.

CE excite la bobine **d**.

FC4 désexcite les bobines **d** et **a** et excite la bobine **b**.

FC1 désexcite la bobine **b**.



On donne :

Pompe : Cylindré $17.5 \text{ cm}^3/\text{tr}$, vitesse de rotation 1440 tr/mn , pression du refoulement **110 bar**, la pression d'aspiration est négligée par rapport à celle du refoulement, $Q = 24 \text{ l/mn}$ et le rendement total **0.85**.

Vérin horizontal : $D = 100 \text{ mm}$, $d = 70 \text{ mm}$, course = 800 mm , $\eta_{vé} = 0.91$ et $F = 71500 \text{ N}$.

D'autre part, la tige est en acier $E = 2.10^5 \text{ N/mm}^2$ et le mode de fixation du vérin correspond à $k = 2$.

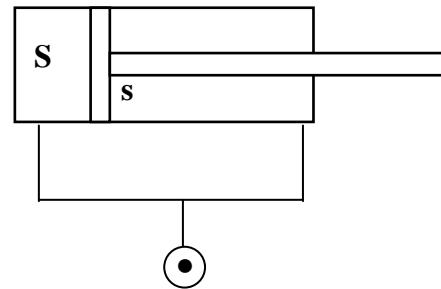
Enfin, $q = 9 \text{ l/mn}$.

1. Donner la désignation normalisée de chacun des composants hydrauliques numérotés dans le circuit.
2. Expliquer le cycle effectué par les vérins.
3. Calculer les différentes vitesses de déplacement de la tige du **vérin horizontal**.
4. Calculer les rendements volumétrique et hydromécanique de la pompe.
5. Calculer le couple reçu par la pompe.
6. Calculer la puissance mécanique reçue par la pompe.
7. Calculer la pression à l'entrée du vérin horizontal nécessaire pour vaincre la force F .
8. Pour un coefficient de sécurité $s = 4$, montrer que la tige du vérin horizontal résiste au flambage.

EXERCICE 2:

On alimente simultanément les côtés d'un vérin à une pression $p = 100 \text{ bar}$ par un débit $q = 100 \text{ l/min}$. Quel est le comportement du vérin ? Calculer alors la force développée par le vérin et la vitesse du déplacement de la tige.

On donne : $D = 80 \text{ mm}$ et $d = 40 \text{ mm}$



EXERCICE 3:

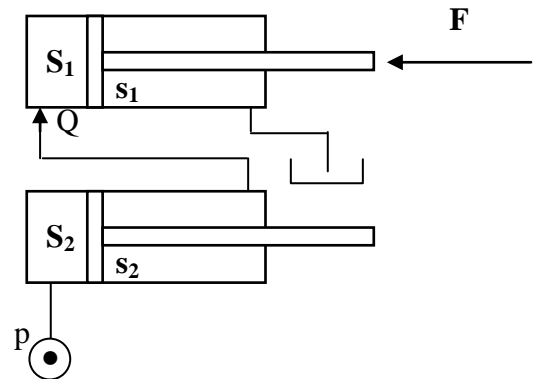
On suppose deux vérins montés selon le schéma de rendement $\eta = 90 \%$. Calculer la pression p nécessaire pour équilibrer la force F et calculer la vitesse de sortie du tige de vérin N° 1 v_1 .

On donne : $F = 90 \text{ kN}$

$S_1 = 100 \text{ cm}^2$; $S_2 = 120 \text{ cm}^2$

$S_1 = 2 s_1$; $S_2 = 2 s_2$

$Q = 90 \text{ l/min}$



EXERCICE 4:

Soit le schéma hydraulique ci-dessous.

On se propose de faire déplacer une charge $M = 800 \text{ kg}$ suivant l'axe verticale.

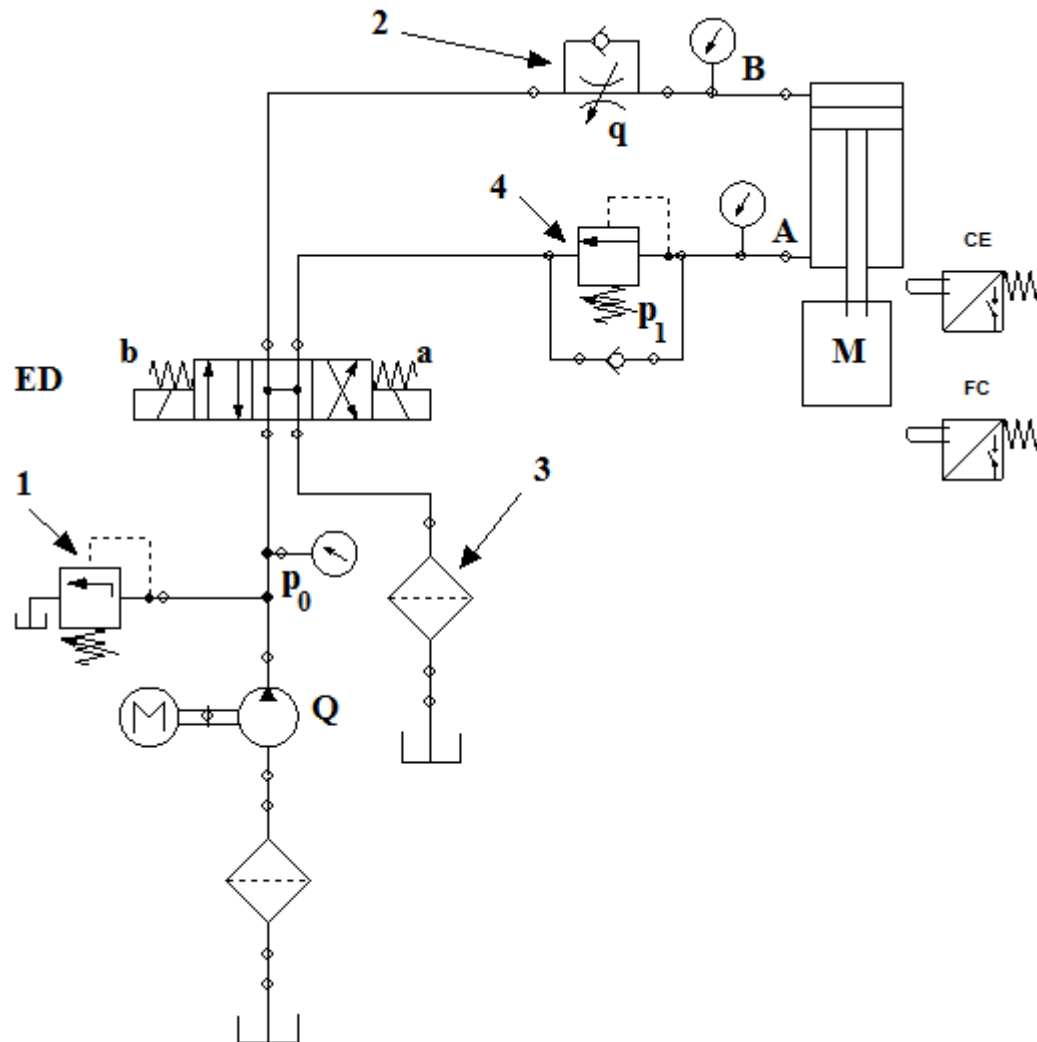
La charge est accouplée à un vérin double effet de caractéristiques : $S = 100 \text{ cm}^2$; $s = 75 \text{ cm}^2$

La pompe débite 30 l/mn

Le composant 1 est taré à $p_0 = 100 \text{ b}$

1. Identifier les composants 1, 2, 3, ED.
2. Soit $a = b = 0$;
 - a. Déterminer la pression p_A .

- b. Que doit être p_1 pour que la charge soit maintenue en n'importe quelle position.
3. Si $b = 1$, le vérin descend ; déterminer la vitesse de descente de la charge.
4. Si $a = 1$, le vérin monte ;
 - a. Déterminer q pour que la vitesse de montée soit égale à celle de descente.
 - b. Déterminer la quantité de fluide qui passe par l'élément 1.



EXERCICE 5:

Soit le schéma hydraulique ci-dessous.

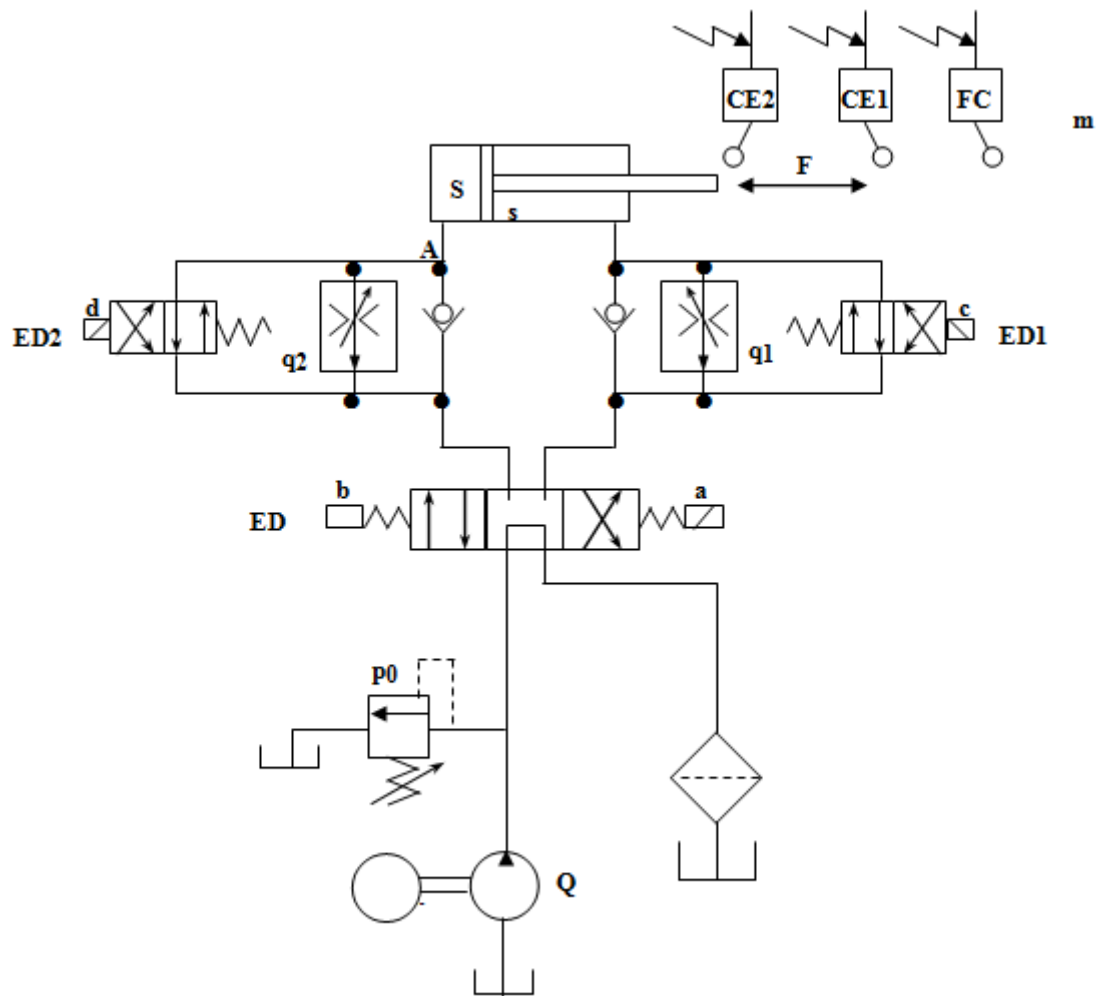
L'appui sur le bouton poussoir (m) excite la bobine (b) de l'électro-distributeur ED.

CE1 excite les bobines (c) et (d) des électro-distributeurs respectivement ED1 et ED2.

FC désexcite les bobines (b), (c) et (d) et excite la bobine (a).

1. Expliquer le cycle effectué par le vérin.
2. Calculer les efforts développés par le vérin lors de la sortie et de retour de la tige sachant que la pression au point A est $P = 160$ bars.
3. Calculer les vitesses de la tige de vérin lors des mouvements suivantes :
 - Sortie rapide (V_{SR}) Sortie lente (V_{SL})
 - Retour rapide (V_{RR}) Retour lent (V_{RL})

On donne : $Q = 90$ l/min ; $q_1 = 20$ l/mn ; $q_2 = 30$ l/mn ; $S = 100$ cm² ; $s = 60$ cm²



Correction du Travaux Dirigés N°3

* Exercice 1:

1. - Limiteur de pression à tarage variable.
 - Distributeur 4/3 à centre Semi ouverts à commande électrique avec ressort de rappel.
 - Limiteur de débit unidirectionnel.
 - Distributeur 3/2 NF à commande électrique avec ressort de rappel.
2. - Sortie de la tige du vérin vertical.
 - Retour de la tige du vérin vertical.
 - Sortie rapide de la tige du vérin horizontal.
 - Sortie lente de la tige du vérin horizontal.
 - Retour rapide de la tige du vérin horizontal.

3. - Sortie Rapide :

$$V_{sr} = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$AN : V_{sr} = 0,0509 \text{ m/s.}$$

- Sortie lente :

$$V_{sl} = \frac{q}{S} = \frac{4q}{\pi D^2}$$

$$AN : V_{sl} = 0,019 \text{ m/s}$$

- Retour :

$$V_r = \frac{Q}{S'} = \frac{4Q}{\pi (D^2 - d^2)}$$

$$AN : V_r = 0,0998 \text{ m/s}$$

$$4. \quad \eta_v = \frac{Q_{moyr}}{Q_{moy}} = \frac{Q_{moyr}}{Cyl.N}$$

$$AN : \eta_v = 95.23\%$$

$$\diamond \quad \eta_m = \frac{\eta_g}{\eta_v}$$

$$AN : \eta_m = 89.25\%$$

5.

$$C = \frac{Cyl (p_s - p_s)}{2\pi \eta_m}$$

$$AN : C = 34,32 \text{ Nm}$$

$$6. \quad P_m = C.W = \frac{C \cdot 2\pi N}{60}$$

$$AN : P_m = 5175,33 \text{ W}$$

$$7. \quad p = \frac{F}{S \eta_v} = \frac{4F}{\eta_v \pi D^2}$$

$$AN : p = 100,039 \text{ bar}$$

$$8. \quad \text{On a : } \begin{cases} F = \frac{\pi^2 EI}{l_f^2} = \frac{\pi^3 E d^4}{64 (kc)^2} \\ F_c = s \cdot F \end{cases}$$

$$AN : F_c = 908765,50 \text{ N}$$

$$\frac{F_c}{s} = 227191,376 \text{ N} > 71500 \text{ N}$$

D'où la tige du vérin horizontal résiste au flambage.

❖ Autre méthode :

$$\text{On a : } d > \sqrt[4]{\frac{64 \cdot s \cdot F \cdot l_f^2}{\pi^3 E}}$$

$$d > \sqrt[4]{\frac{64 \cdot s \cdot F \cdot (kc)^2}{\pi^3 E}}$$

$$AN : d > 52,429 \text{ mm}$$

$$\text{Or } d_{\text{tige vérin}} = 70 \text{ mm d'ou } > 52,429 \text{ mm}$$

Donc la tige du V.H résiste au flambage.

* Exercice 2:

Comportement du vérin : Sortie du tige.

La tige de vérin est soumise à deux forces de pression :

$$F_1 = p \cdot S \quad \text{et} \quad F_2 = p \cdot s \quad \text{avec} \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{et} \quad s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Donc, la force développée par le vérin est :

$$F = p \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad \text{A.N : } F = 37.7 \text{ kN}$$

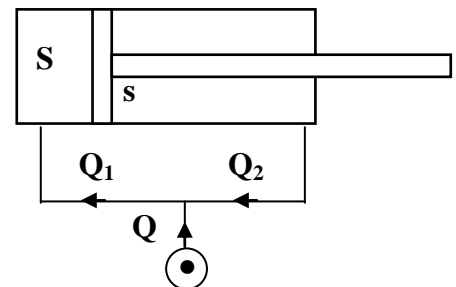
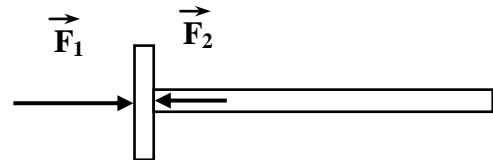
$$\text{La vitesse du déplacement de la tige est : } v = \frac{Q_1}{S} = \frac{Q_2}{s}$$

$$\text{Or : } Q_1 = Q + Q_2 \quad \text{D'où : } v = \frac{Q}{S - s}$$

* Exercice 3:

Soit p' , la pression dans les chambres de sections S_1 du vérin 1 et s_2 du vérin 2.

$$\text{La force } F' \text{ nécessaire pour équilibrer } F \text{ est : } F' = \frac{F}{\eta} \quad \text{avec} \quad F' = p' \cdot S_1.$$



$$\text{Donc } p' = \frac{F}{\eta \cdot S_1}$$

La tige du vérin N°2 n'est soumise qu'aux forces de pression, donc :

$$p' \cdot S_2 = \eta \cdot p \cdot S_2 \Rightarrow p = \frac{S_2}{S_1} p' \quad \Leftrightarrow \quad p = \frac{S_2}{\eta \cdot S_1 \cdot S_2} F$$

$$\text{A.N : } p = 50 \text{ bar}$$

$$\text{La vitesse de sortie de la tige du vérin N° 1 est } v_1 = \frac{Q'}{S_1}$$

$$\text{avec } Q', \text{ le débit qui alimente le vérin N° 1 : } \frac{Q}{S_2} = \frac{Q'}{S_2}$$

$$\text{Donc } v_1 = \frac{S_2}{S_1 \cdot S_2} \cdot Q \quad \text{A.N : } v_1 = 0.075 \text{ m/s}$$

* Exercice 4:

1. 1 : limiteur de pression réglable
2 : limiteur de débit unidirectionnel réglable
3 : Filtre
4 : Valve d'équilibre
ED : Distributeur 4/3 à centre ouvert à commande électromagnétique et retour au repos par ressorts.

2. Soit $a = b = 0$;
2.1- La tige de vérin est en équilibre. Elle est soumise au poids de la charge et à la force de pression du l'huile qui est emprisonné dans la chambre de petite section.

$$P = F_p \quad \Leftrightarrow \quad M \cdot g = p_A \cdot S \quad \Leftrightarrow \quad p_A = \frac{M \cdot g}{S} = 10.67 \text{ bar}$$

- 2.2- Pour que la charge soit maintenue en n'importe quelle position, il faut que la valve de séquence soit tarée à une pression $p_1 > p_A$.

- 3- Si $b = 1$, le vérin descend ; La vitesse de descente de la charge est : $v_d = \frac{Q}{S} = 0.05 \text{ m/s}$
4. Si $a = 1$, le vérin monte ;

$$4.1- \text{La vitesse de montée est } v_m = \frac{q}{S}$$

Pour que la vitesse de montée soit égale à celle de descente, il faut que le limiteur de débit soit taré à un débit $q = Q$.

$$4.2- \text{Le débit qui alimente le vérin est } Q' \text{ avec } \frac{q}{S} = \frac{Q'}{S}$$

$$\text{La quantité de fluide qui passe par l'élément 1 est } Q_1 = Q - Q' = \left(1 - \frac{S}{S}\right) Q = 7.5 \text{ l/mn.}$$

* Exercice 5:

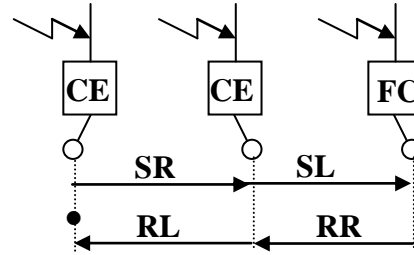
1. Le cycle effectué par le vérin est :

SR : sortie rapide

SL : sortie lente

RR : retour rapide

RL : retour lente



2. La force développée par le vérin lors de la sortie de la tige : $F_s = p.S = 120kN$

La force développée par le vérin lors du retour de la tige :

$$F_R = p.s = 72kN$$

3. Vitesses de la tige du vérin :

$$v_{SR} = \frac{Q}{S} = 0.15m/s$$

$$v_{RR} = \frac{Q}{s} = 0.167m/s$$

$$v_{SL} = \frac{q_1}{S} = 0.056m/s$$

$$v_{RL} = \frac{q_2}{s} = 0.05m/s$$

RECUEIL DES TRAVAUX DIRIGES

TRAVAUX DIRIGES N°1

Les circuits de transport de liquide

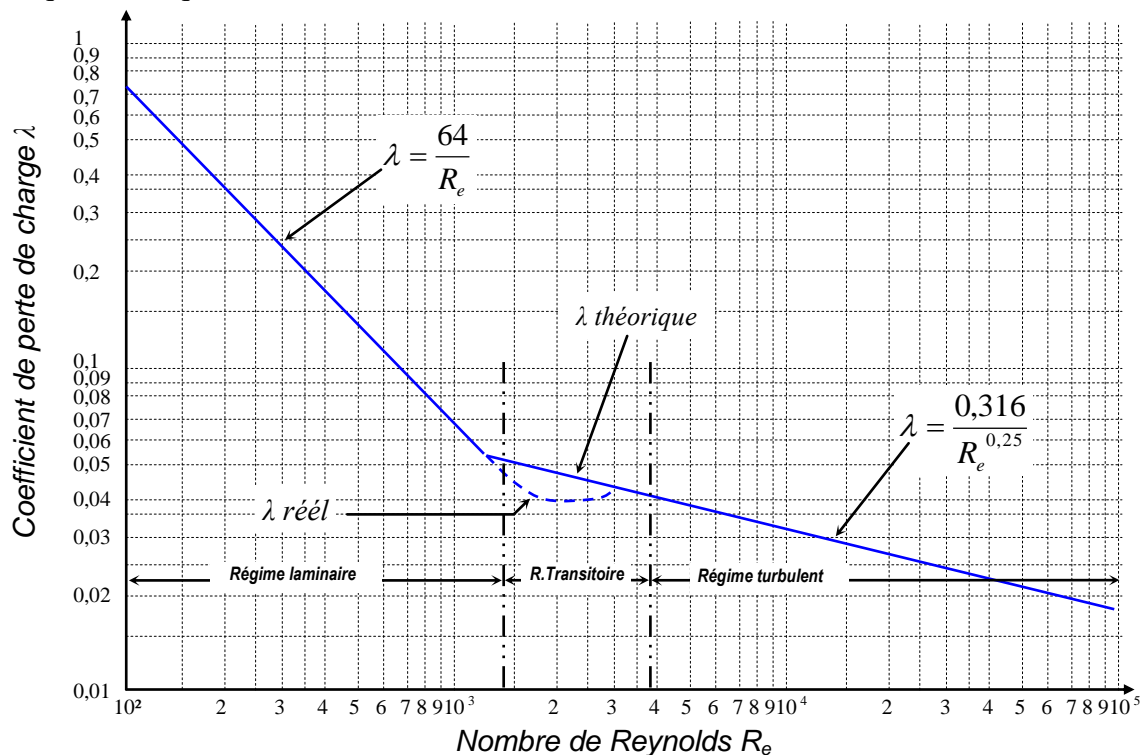
Exercice 1:

- Le réservoir de distribution d'une ville se trouve à une hauteur $Z_2 = 60m$ tandis que la source est située à une hauteur $Z_1 = 20m$.
- La conduite d'adduction liant la source au réservoir est en polyéthylène haute densité **PE 100-PN 10**. Elle est de longueur $L = 4000m$ et de diamètre $D = 200mm$.
- Cette adduction comporte une station de pompage au niveau de la source. La station est équipée de deux pompes identiques montées en parallèle.
- Les caractéristiques de chaque pompe sont données dans le tableau suivant :

Q_v	[m ³ /h]	0	18	36	54	72	90	108
H_{mt}	[mCE]	65	61	55	48	39	30	20
η	[%]	--	40	59	65	60	48	--

Données :

- Le nombre de Reynolds $Re = 2 \times 10^5$.
 - On néglige les pertes de charge singulières.
 - Dans le cas de deux pompes parallèles les débits s'ajoutent ($Q_v = Q_{v1} + Q_{v2}$) mais les H_{mt} pour les deux pompes identiques restent constante ($H_{mt} = H_{mt1} = H_{mt2}$)
 - Ci-joint la table de perte de charge.
1. Tracer la courbe caractéristique de la pompe $H_{mt} = f(Q_v)$.
 2. Exprimer la perte de charge ΔH en fonction du débit Q_v .
 3. Tracer la courbe caractéristique de la conduite d'adduction pour les valeurs de Q_v données dans le tableau ci-dessus.
 4. Déterminer le point de fonctionnement dans le cas d'une seule pompe en service et dans le cas de deux pompes parallèles.
 5. Déterminer la puissance hydraulique fournie par la pompe dans les deux cas cités en quatrième question.



Exercice 2:

Les caractéristiques d'une pompe centrifuge entraînée à 1440 tr/mn sont données par le tableau ci – dessous.

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35
H _m (m)	25	29	29	26.8	22.4	16	10	4
P _{méc} (kw)	3.5	4.25	5.1	6	6.8	7.75	8.5	9.4

On donne : $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$, la pression absolue de vapeur de l'eau. $p_v = 0.024 \text{ bar}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$ et le rendement du moteur électrique $\eta_m = 0.82$.

3. Tracer les courbes caractéristiques de la pompe.
4. Placée dans un circuit, la pompe fournit un débit d'eau de 22.5 l/s.
 - a. Déterminer la hauteur manométrique.
 - b. Sachant que la pression absolue à l'entrée de la pompe est de 0.6 bar et que le NPSH_r = 3.5 m, calculer la pression à la sortie de la pompe et montrer que la cavitation est évitée pour ce débit.
5. La pompe étant dans le même circuit, on désire un débit de 18 l/s, on a deux possibilités :
 - a. Agir sur la vanne de réglage de débit.
 - a-1/ Déterminer la hauteur manométrique la puissance mécanique.
 - a-2/ Calculer l'énergie électrique consommée pour remplir un réservoir de 600 m³.
 - b. Agir sur la vitesse de rotation de la pompe.
 - b-1/ Calculer la nouvelle vitesse de rotation, la nouvelle hauteur manométrique et la nouvelle puissance mécanique.
 - b-2/ Calculer la nouvelle énergie électrique consommée pour remplir le réservoir de 600 m³, sachant que le rendement du moteur reste constant.

* Exercice 3:

Une pompe centrifuge entraînée un moteur électrique à 1450 tr/mn a les caractéristiques données par le tableau suivant. Elle assure le transfert de l'eau d'un barrage à un réservoir de stockage à l'aide de conduites de même diamètre.

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
H _m (m)	46	49.5	51	50.5	49	46.5	43	39	34.5
P _{méc} (kw)	7.4	9.25	11	12.75	14.5	16.3	18.1	20	22

On donne : $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$, $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ et $p_v = 0.024 \text{ bar}$.

1. Parmi les diamètres 100, 115 et 130 mm lequel doit – on choisir pour que la vitesse ne dépasse pas 2.5 m/s lorsque le débit est de 25 l/s ?
2. Pour : $h_a = 6.5 \text{ m}$, $l_a = 50 \text{ m}$, $\lambda_a = 0.02$, $k_a = 3.5$ et $d_a = 100 \text{ mm}$, la pompe peut- elle assurer un débit de 25 l/s ? Sinon modification doit-on apporter ?
3. On utilise enfin le diamètre 130 mm pour transférer l'eau. La longueur totale de la conduite est $L = 650 \text{ m}$, $H_G = 18 \text{ m}$, $\lambda = 0.02$ et $K = 8$, déterminer le point de fonctionnement de la pompe (Q^* , H_m^* , $P_{\text{méc}}^*$, η_p^*).

* Exercice 4:

On considère le circuit de transport d'eau d'un barrage à un réservoir de stockage.

La pompe doit assurer un débit supérieur à 22.5 l/s. On dispose de deux diamètres de conduite $d_1 = 120 \text{ mm}$ et $d_2 = 130 \text{ mm}$.

On donne : $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$, $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ et $p_v = 0.024 \text{ bar}$.

$h_a = 6.75 \text{ m}$, $H_G = 24 \text{ m}$, $L_a = 40 \text{ m}$, $L_r = 190 \text{ m}$, $k_a = 3.5$, $k_r = 5$ et $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda = 0.025$.

On utilise le même diamètre à l'aspiration et au refoulement.

Elaboré par : Chouchéne Mohamed

Les caractéristiques de la pompe sont données par le tableau suivant :

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
H _m (m)	40	41.7	43	42.7	40.8	37	31.3	24.3	16
P _{méc} (kw)	5	6.6	8.5	10.2	12	13.8	15.6	17.4	19.4

1. Calculer le rendement de la pompe et tracer ses courbes caractéristiques.
2. Le choix de la pompe est – il correct ? Justifier.
3. Montrer que la hauteur manométrique du circuit peut s'écrire sous la forme $H_m = H_G + \Delta H$, avec ΔH la perte de charge dans le circuit et que $\Delta H = A.Q^2$. Calculer les paramètres A_1 et A_2 respectivement pour les diamètres d_1 et d_2 lorsque Q est en l/s.
4. Déterminer les points de fonctionnement de la pompe pour les conduites d_1 et d_2 .
5. Quel diamètre doit-on choisir ? Justifier.

* Exercice 5:

Les caractéristiques d'une pompe centrifuge entraînée à 1440 tr/mn sont données dans le tableau ci-dessous :

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35
H _m (m)	30	35.4	35.4	32.4	27	19.6	12	4.8
P _{méc} (kw)	4.20	5.15	6	7	8.05	9.15	10.20	11.05

1. Donner l'expression du rendement de la pompe η_p , puis calculer η_p pour les différents débits du tableau ci-dessous et tracer les courbes caractéristiques de la pompe.

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35
η_p								

Cette pompe assure le transport de l'eau d'un barrage à un réservoir de stockage, comme l'indique le schéma ci-dessous.

On dispose de deux diamètres de conduites : $d_1 = 100$ mm et $d_2 = 130$ mm.

Longueur de la conduite d'aspiration : $L_a = 60$ m.

Longueur de la conduite de refoulement : $L_r = 250$ m.

Coefficient de perte de charge singulière à l'aspiration $k_a = 3.25$ et celui au refoulement $k_r = 5.5$.

Coefficient de perte de charge linéaire pour le diamètre d_1 est $\lambda_1 = 0.025$ et celui pour le diamètre d_2 est $\lambda_2 = 0.02$.

On donne en plus : $\rho = 10^3$ Kg/m³, $g = 10$ m/s², $p_{atm} = 1$ bar, $h_a = 6$ m, $H_G = 17.5$ m, la pression absolue de vapeur de l'eau est $p_v = 0,024$ bar, et le rendement du moteur électrique $\eta_m = 0.85$.

On utilise le même diamètre à l'aspiration et au refoulement.

2. Montrer que la hauteur manométrique du circuit s'écrit sous la forme : $H_m = H_G + \Delta H$ étant la perte de charge dans le circuit et que $\Delta H = A.Q^2$. Donner l'expression littérale de A et calculer A_1 et A_2 respectivement pour les diamètres d_1 et d_2 lorsque Q est en (l/s).
3. On prendra pour la suite $A_1 = 0.07$ et $A_2 = 0.016$ respectivement pour les diamètres d_1 et d_2 lorsque Q est en (l/s), calculer les hauteurs manométriques du circuit H_{m1} pour le diamètre d_1 et H_{m2} pour le diamètre d_2 .

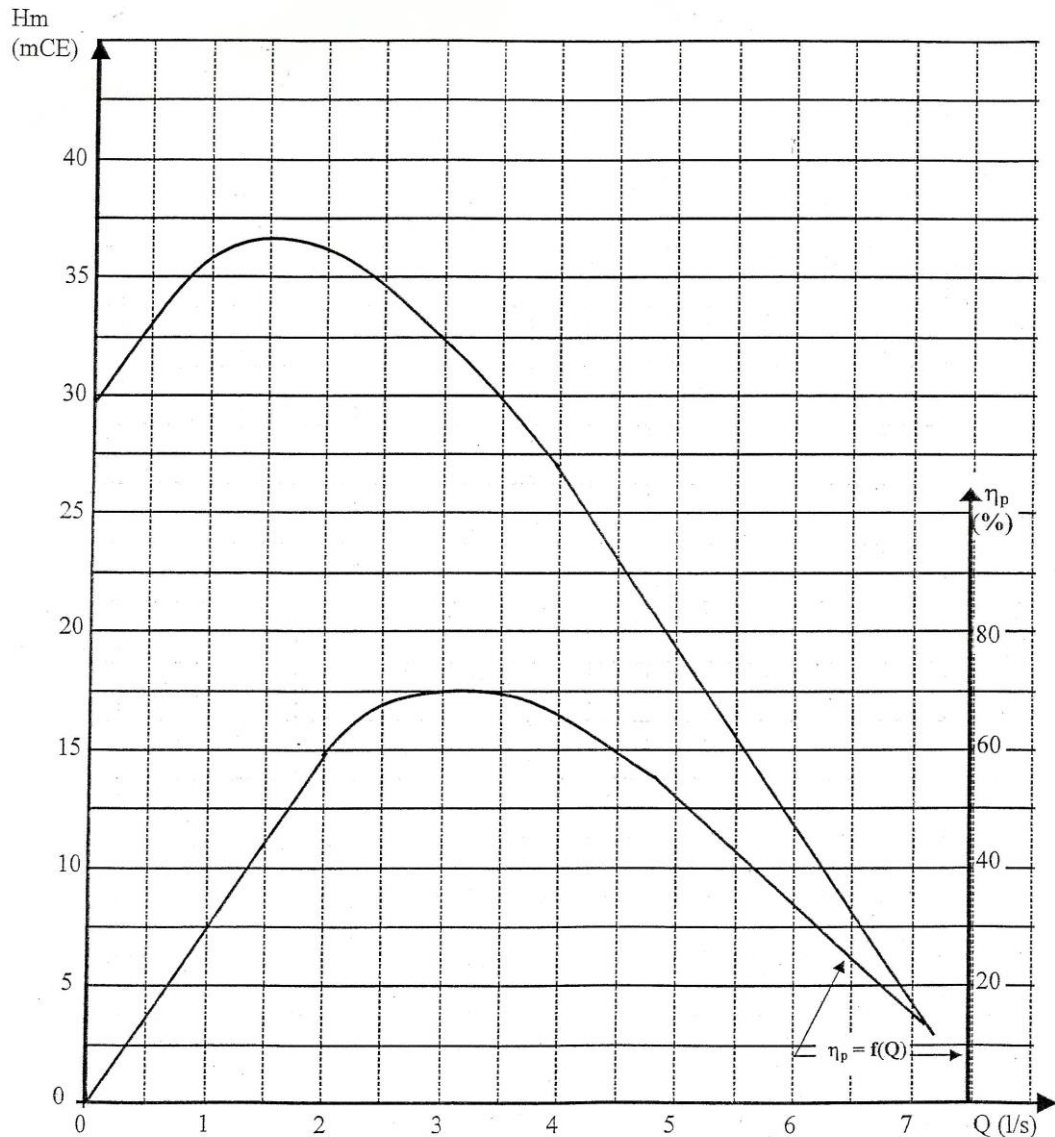
Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35
H _{m1} (m CE)								
H _{m2} (m CE)								

4. Déterminer les points de fonctionnement pour mes diamètres d_1 et d_2 : Q^* , H_{m1}^* , $P_{méc1}^*$, η_{p1}^* , Q_2^* , H_{m2}^* , $P_{méc2}^*$ et η_{p2}^* .
5. Quel diamètre de conduite doit-on choisir ? Justifier votre réponse.

6. Pour le diamètre choisi, montrer que la cavitation est évitée.

* Exercice 6:

Les caractéristiques d'une pompe centrifuge entraînée à 1440 tr/mn par un moteur électrique sont données dans la courbe ci-dessous. Cette pompe assure le transport de l'eau dans une tour de refroidissement.



Courbe caractéristique de la pompe

On dispose de deux types de conduites de diamètres $d_1 = 36$ mm et $d_2 = 50$ mm.

La longueur de la conduite d'aspiration est $L_a = 10$ m.

La longueur de la conduite de refoulement est $L_r = 50$ m.

Le coefficient de perte de charge singulière à l'aspiration $k_a = 3$ et celui au refoulement $k_r = 7$.

Le coefficient de perte de charge linéaire pour la conduite de diamètre d_1 est $\lambda_1 = 0.021$ et celui de la conduite de diamètre d_2 est $\lambda_2 = 0.019$.

On donne aussi : $\rho = 10^3$ Kg/m³, $g = 10$ m/s², $p_{atm} = 1$ bar, $h_a = 3$ m, $H_G = 20$ m, la pression absolue de vapeur de l'eau est $p_v = 0,025$ bar, et le rendement du moteur électrique $\eta_m = 0.85$.

On utilise le même diamètre à l'aspiration et au refoulement (soit d_1 soit d_2).

On souhaite un débit supérieur à 3 l/s.

1. Le choix de cette pompe est-il correct? justifier.

2. Montrez que l'équation caractéristique de circuit s'écrit sous la forme : $H_m = H_G + A Q^2$. Donner l'expression littérale de A et calculer A_1 et A_2 respectivement pour les diamètres d_1 et d_2 lorsque Q est en (l/s).
3. On prendra pour la suite $A_1 = 2.4$ et $A_2 = 0.47$ respectivement pour les diamètres d_1 et d_2 lorsque Q est en (l/s). calculer les hauteurs manométriques du circuit H_{m1} pour d_1 et H_{m2} pour le diamètre d_2 .
4. Compléter le tableau suivant :

Q (l/s)	0	5	10	15	20	25	30	35
H _{m1} (m CE)								
H _{m2} (m CE)								

5. Déterminer les points de fonctionnement pour les diamètres d_1 et d_2 .

*Exercice 7:

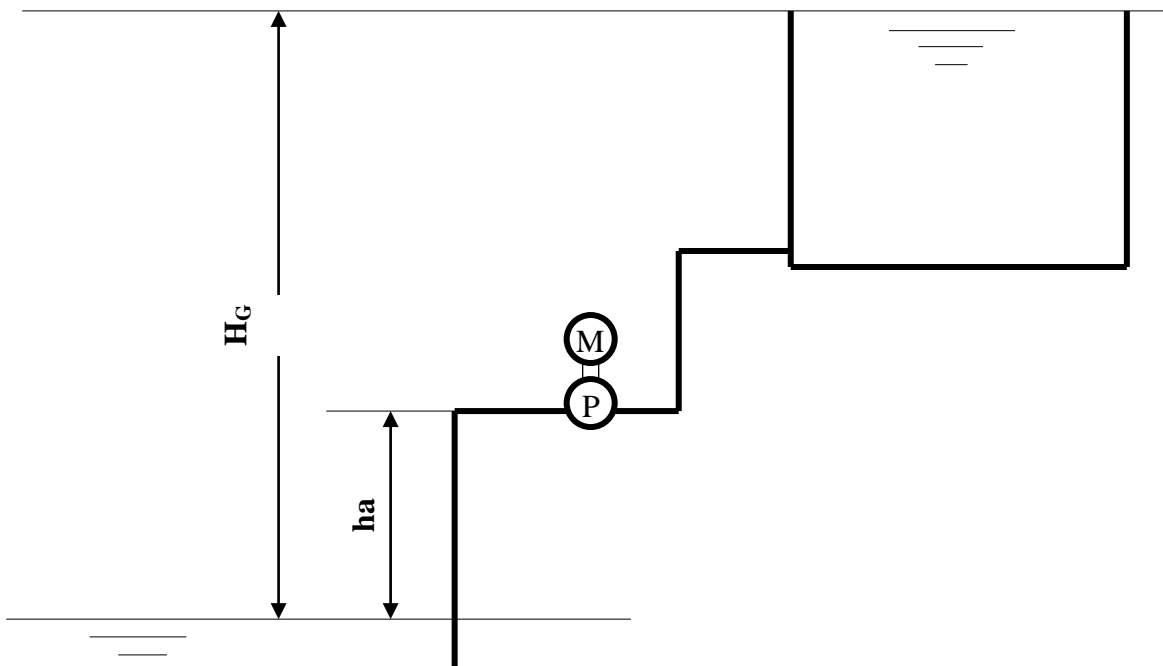
On considère le circuit de transport d'eau d'un barrage à un réservoir de stockage.

La pompe doit assurer un débit $Q \geq 22.5$ l/s.

On dispose de deux diamètres de conduite $d_1 = 120\text{mm}$ et $d_2 = 130\text{mm}$.

On supposera :

- Les diamètres à l'aspiration et au refoulement identiques
- Les coefficients de perte de charge indépendants des diamètres des conduites



On donne : $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $h_a = 6.75 \text{ m}$ et $H_G = 24 \text{ m}$.

La longueur des conduites : à l'aspiration $L_a = 40 \text{ m}$, au refoulement $L_r = 190 \text{ m}$.

Le coefficient de perte de charge linéaire $\lambda = 0.025$.

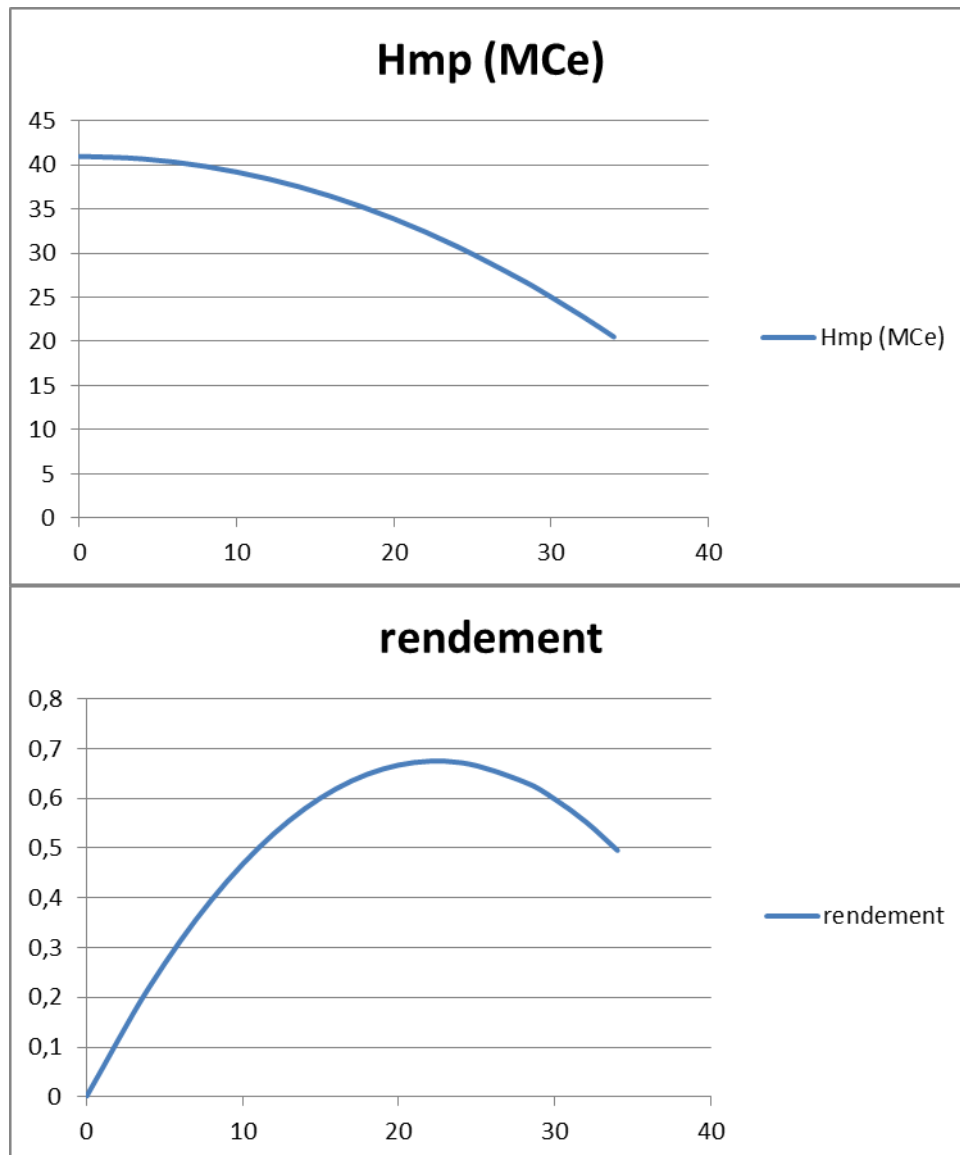
La pression de vapeur à la température considérée $p_v = 0.025 \text{ bar}$.

1. Montrer que la hauteur manométrique totale du circuit peut s'écrire sous la forme : $H_m = H_G + \Delta H$ avec $\Delta H = A \cdot Q^2$ la perte de charge.

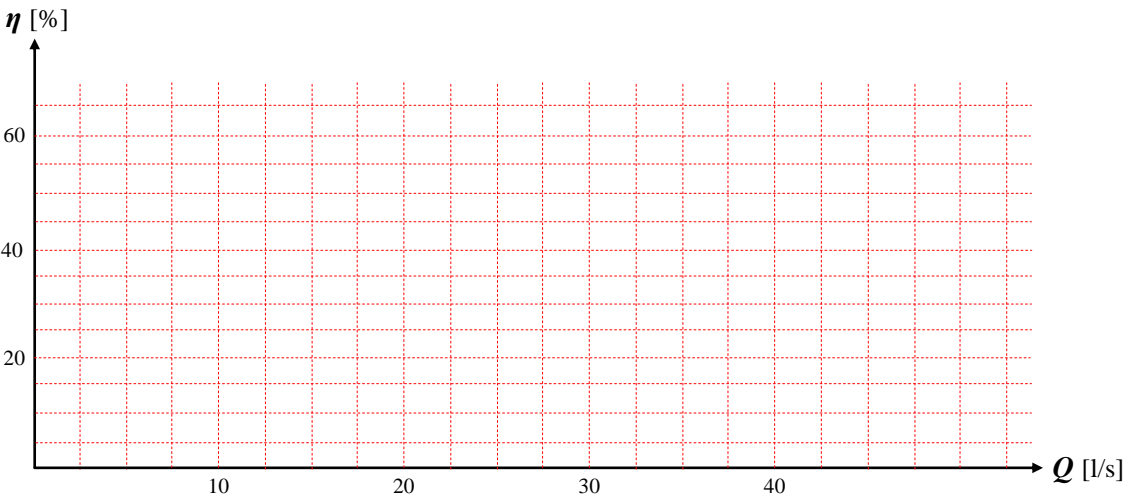
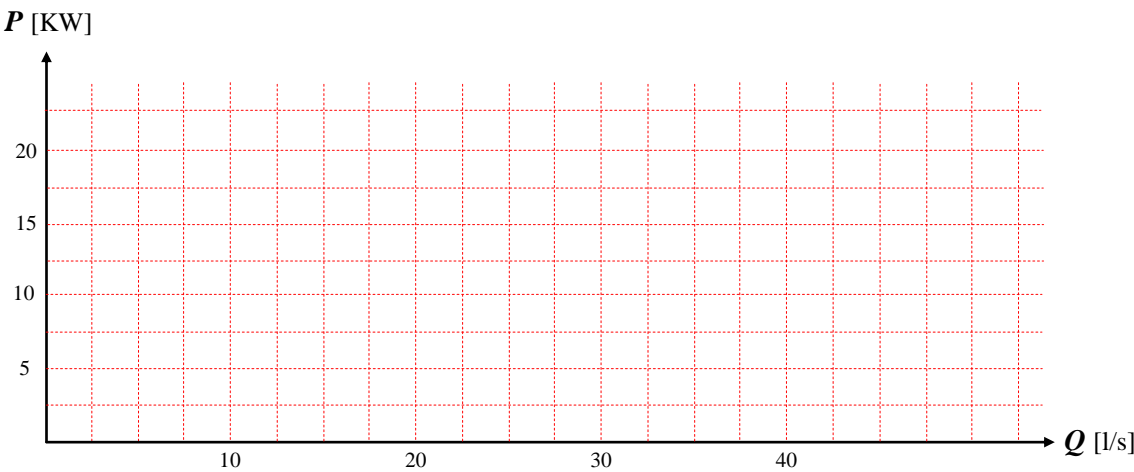
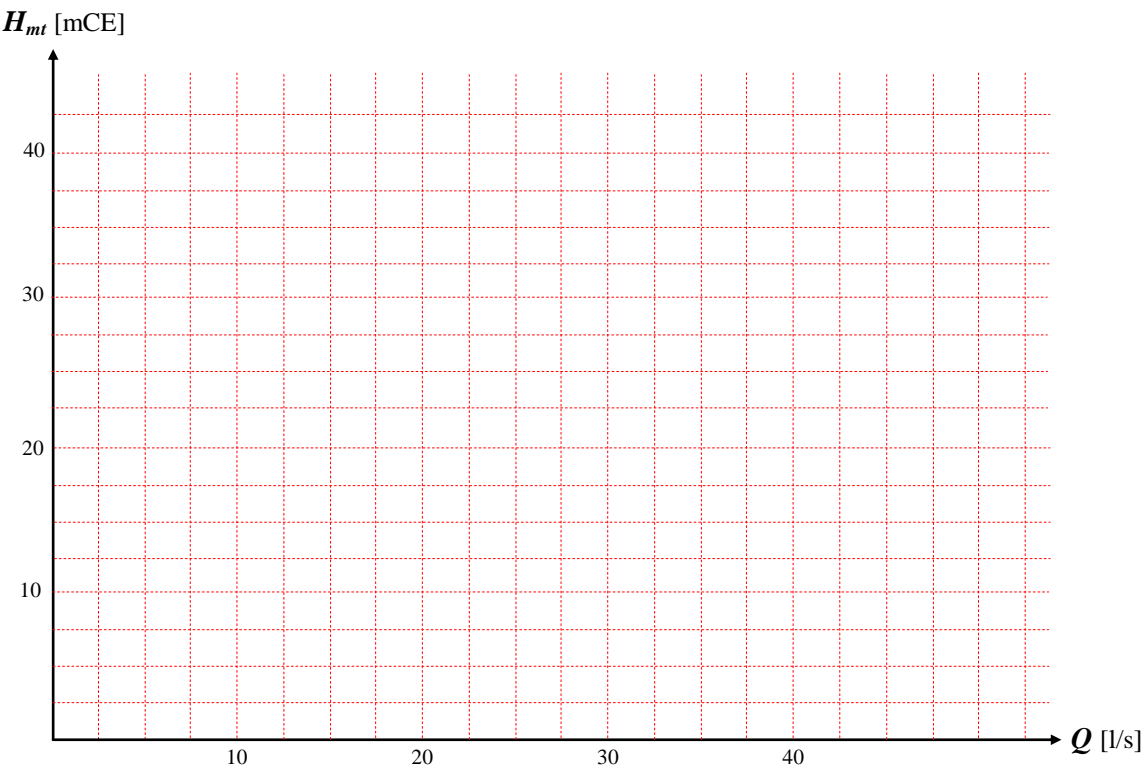
2. Calculer les paramètres de perte de charge A_1 et A_2 respectivement pour d_1 et d_2 lorsque Q est en [l/s]

3. Les caractéristiques de la pompe sont données dans la courbe ci-dessous.

- a. Le choix de cette pompe est-il correct ? (Justifiez)
- b. Déterminer les points de fonctionnement des deux conduites.

4. Quel diamètre faut-il choisir ? (Justifiez)

Courbes caractéristiques de la pompe



TRAVAUX DIRIGES N°2

Les pompes volumétriques

* Exercice 1:

On se propose d'étudier les performances de deux pompes afin d'en choisir une d'entre elles, pour ce faire on effectue l'essai suivant :

Fonctionner les deux pompes à cinq fréquences de rotation en mesurant à la fois les débits réels correspondants à une pression de refoulement nulle et constante $p_{ref} = 0 \text{ bar}$ et une pression d'aspiration constante $p_{asp} = -0,3 \text{ bar}$. La cylindrée de la première pompe est $C_{yl1} = 5,5 \text{ cm}^3 / \text{tr}$, celle de la deuxième est $C_{yl2} = 8 \text{ cm}^3 / \text{tr}$ et $p_{ref th} = 0,2 \text{ bar}$.

Les mesures de cet essai sont illustrées dans le tableau suivant :

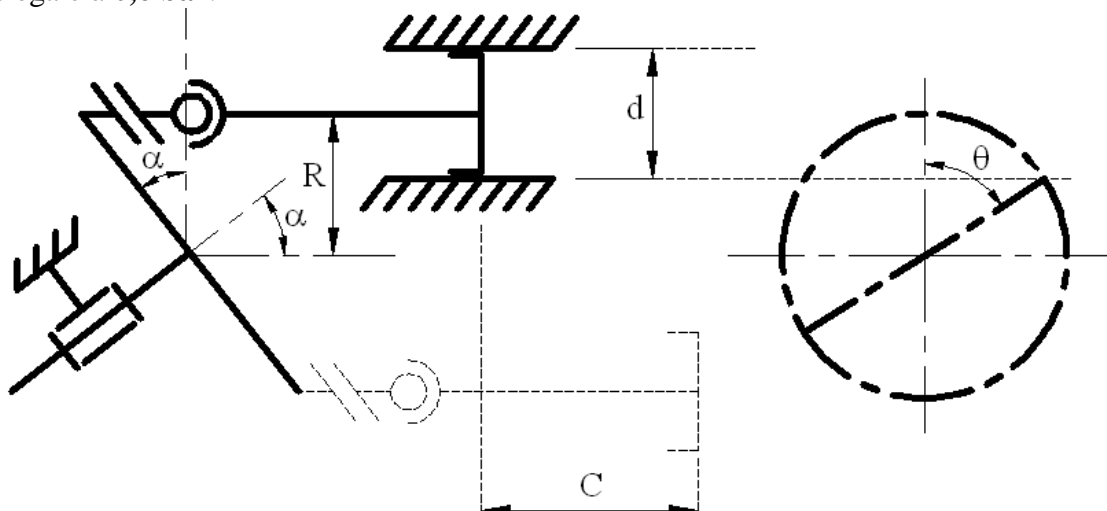
Fréquence de rotation (tr/mn)	450	900	1350	1800	2150
Débit réel de la pompe 1 (l/mn)	1,8	4	6,4	8,8	9,8
Débit réel de la pompe 2 (l/mn)	2	4,3	6,8	9,3	10

* Travail demandé :

- Pour chaque valeur de la fréquence de rotation déterminer :
 - Les débits volumétriques théoriques des deux pompes (en l/mn).
 - Les rendements volumétriques des deux pompes (en %).
 - Les puissances hydrauliques des deux pompes (en W).
 - Les puissances mécaniques des deux pompes (en W).
 - Le rendement global pour chacune des deux pompes (en %).
- Tracer les graphes suivants : $Q_{v \text{ moy } r} = f(N)$ et $\eta_{Gl} = f(N)$.
- Déduire pour chaque pompe les paramètres optimaux de fonctionnement : N , $Q_{v \text{ moy } r}$, P_{hy} et P_{mec} qui correspondent à un rendement global maximal.
- Déduire la pompe la plus performante. Justifier votre choix.

* Exercice 2:

Soit une pompe à pistons axiaux à débit variable, utilisée pour l'alimentation d'une installation hydraulique d'un engin de travaux publics (fig. 1). Cette pompe travaille à **1800 tr/mn** et elle est caractérisée par une pression d'aspiration constante $p_{asp} = -0,4 \text{ bar}$. La mesure de la pression de refoulement réelle a donné une valeur constante égale à **0,4 bar**, tandis que la pression théorique est estimée égale à **0,6 bar**.



Vue schématique d'une pompe à pistons axiaux

* Travail demandé :

Sachant que le débit instantané théorique (en m^3/s) est déterminé par la relation ci-dessous, on vous demande de :

$$q_v = \frac{1}{4} S \cdot \omega \cdot C \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \left[\sin\left(\theta + i \cdot \frac{2\pi}{n}\right) + \left| \sin\left(\theta + i \cdot \frac{2\pi}{n}\right) \right| \right]$$

Où : - S : l'aire de la section d'un piston (en m^2).

- C : la course d'un piston (en m).

- ω : la vitesse angulaire du bloc-cylindres (rad/s).

- θ : l'abscisse angulaire positionnant le piston n°1.

- n : le nombre de pistons.

- q_v : le débit instantané théorique (m^3/s).

1. Déterminer l'expression de la course d'un piston en fonction du rayon du bloc-cylindres R et de l'angle de brisure α . La calculer.
2. En vous référant aux données ci-dessous, calculer le débit instantané théorique q_v de cette pompe (en m^3/s).
3. Calculer la cylindrée de cette pompe. Dédurre son débit moyen théorique $q_{v \text{ moy}}$ (en m^3/s).
4. Comparer q_v et $q_{v \text{ moy}}$, expliquer la (ou les) cause(s) de la différence si elle existe.
5. Calculer le rendement volumétrique de cette pompe (en %), sachant que le débit des fuites est supposé constant et il est égale à $0,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.
6. Calculer le rendement mécanique de cette pompe (en %).
7. Calculer la puissance hydraulique de cette pompe (en W).
8. Calculer la puissance mécanique de cette pompe (en W).
9. Calculer le rendement global (en %) en utilisant deux méthodes.

On relève sur le catalogue du constructeur de cette pompe les caractéristiques suivantes :

$R = 4,2 \text{ cm}$; $d = 3 \text{ cm}$; $n = 3$ pistons ; $\alpha = 20^\circ$; $\theta = 30^\circ$.

* Exercice 3:

Dans une installation de transmission de puissance hydraulique d'un engin de travaux public, une pompe à pistons radiaux débite réellement 200 l/min pour une pression de sortie de 200 bars et celle de l'entrée 0 bar.

Cette pompe est entraînée par un moteur thermique tournant à la fréquence de 3500 trs/min et donnant un moment de couple à l'arbre moteur de 200 Nm.

La transmission du mouvement du moteur vers la pompe est assurée par un engrenage de rapport de réduction égale à 0,6.

On suppose que la transmission du mouvement se fait sans perte de puissance.

Le débit des fuites est estimé égal à 0,2 % du débit réel.

* Travail demandé :

1. Calculer le débit moyen théorique (m^3/s), déduire le rendement volumétrique de cette pompe.
2. Calculer la fréquence de rotation de l'arbre d'entraînement de cette pompe (tr/s), déduire sa cylindrée.
3. Calculer la puissance hydraulique de cette pompe (W).
4. Calculer le rendement global de cette pompe, déduire son rendement mécanique.
5. Calculer la pression de refoulement théorique de cette pompe (Pa), déduire la chute de pression due aux fuites.

6. Calculer le couple au niveau de l'arbre d'entraînement de cette pompe (Nm) en utilisant deux méthodes.
7. Sachant que cette pompe produit la pression pour fonctionner un vérin double effet, et que la longueur de la conduite entre la sortie de la pompe et l'entrée du vérin est $L = 6\text{m}$, déterminer la pression de l'huile à l'entrée du vérin.

On donne : - La viscosité cinématique de l'huile est $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$.

- La masse volumique de l'huile est $\rho = 930 \text{ Kg/m}^3$.

- Le diamètre de la conduite est $d = 15\text{mm}$.

- les pertes de charges singulière totale sont évalués est $\Delta p_{s1} = 1,5 \text{ bars}$.

* Exercice 4:

Dans une installation de transmission de puissance hydraulique d'un engin de travaux public, une pompe à pistons radiaux débite réellement 250 l/min pour une pression de sortie de 158 bars et celle de l'entrée 0,5 bar.

Cette pompe est entraînée par un moteur thermique tournant à la fréquence de 3000 trs/min et donnant un moment de couple à l'arbre moteur de 210 Nm.

La transmission du mouvement du moteur vers la pompe est assurée par un organe de transmission de puissance mécanique de rapport de réduction égale à 0,7.

On suppose que la transmission du mouvement se fait sans perte de puissance.

Le débit des fuites est estimé égal à 0,02 % du débit théorique.

* Etude de la pompe A :

1.
 - a. Calculer le débit moyen théorique (m^3/s).
 - b. Déduire le rendement volumétrique de cette pompe.
2.
 - a. Calculer la fréquence de rotation de l'arbre d'entraînement de cette pompe (tr/s).
 - b. Déduire sa cylindrée.
3.
 - a. Sachant que cette pompe possède 5 pistons de course 4cm, déterminer le volume refoulé par un piston par tour.
 - b. Déduire le diamètre d'un piston.
4. Calculer la puissance hydraulique de cette pompe (W).
5.
 - a. Calculer le rendement global de cette pompe.
 - b. Déduire son rendement mécanique.
6.
 - a. Calculer la pression de refoulement théorique de cette pompe (Pa).
 - b. Déduire la chute de pression due aux fuites.
7. Calculer le couple au niveau de l'arbre d'entraînement de cette pompe (Nm).

* Etude de la pompe B :

8. On veut remplacer la pompe **A** installée sur l'engin de travaux public par une pompe **B** de même type qui possède 9 pistons ayant les mêmes caractéristiques que les pistons de l'ancienne pompe.
 - a. Calculer la cylindrée de la nouvelle pompe.
 - b. Déduire son débit moyen théorique (m^3/s).

- 9.**
- a.** Sachant que la nouvelle pompe **B** possède le même rendement mécanique que l'ancienne pompe **A**, déterminer la pression de refoulement réelle de cette pompe. La pression de l'entrée est 0,5 bar.
 - b.** Dédire sa pression de refoulement théorique (bar).
- 10.** Calculer la puissance mécanique nécessaire pour fonctionner cette pompe (W).

TRAVAUX DIRIGES N°3

Les circuits de transmission de puissance

* Exercice 1:

Soit un circuit hydraulique d'escamotage d'un train d'atterrissage formé d'une bêche (réservoir), d'une pompe, d'un limiteur de pression, d'un distributeur et d'un vérin.

La bêche : au point A de la bêche on a une vitesse $V_A = 0$ m/s, une altitude $z_A = 0$ m et une pression relative nulle ($p_{Ar} = 0$ bars).

La pompe : elle assure un débit $Q_m = 4$ kg/s d'une huile de masse volumique $\rho = 900$ kg/m³ et de viscosité cinématique $\nu = 200 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Le vérin : au point B on a une vitesse $V_B = 0,5$ m/s (la vitesse de sortie de la tige du vérin), une altitude $z_B = -2$ m et une pression relative nulle ($p_{Br} = 5$ bars). Ce vérin est de rendement $\eta = 0,9$ et pousse une charge F à déterminer.

Les composants du circuit hydraulique sont interconnectés par des flexibles de diamètre $d = 20$ mm. La longueur du flexible entre les points A et B est $L = 2$ m.

Travail demandé :

1. Déterminer le diamètre interne D du vérin.
2. Déterminer la charge F en Newton.
3. Déterminer la vitesse d'écoulement de l'huile dans les flexibles.
4. Déterminer le nombre de Reynolds Re de l'écoulement dans les flexibles. Déduire sa nature.
5. Déterminer les pertes de charges linéaires Δp_l entre les points A et B. Déduire les pertes de charges totales entre les points A et B.
6. Déterminer la puissance hydraulique développée par la pompe.
7. Sachant que la tige du vérin est fabriquée en Acier C35 (ancienne désignation XC38), déterminer le diamètre minimal d_{min} pour que cette tige puisse pousser la charge F . On note que le vérin a un rendement égal à 0,9.
8. Déterminer la vitesse de rentrée de la tige du vérin.
9. Proposer une solution pour fonctionner le vérin avec la même vitesse quelque soit la valeur de la charge F à soulever (donner le symbole normalisé de cette solution).

On donne :

- Le débit Q_m est constant.
- **La pression à un point = la pression relative à ce point + la pression atmosphérique.**
- Les pertes de charges singulières totales entre les points A et B sont estimées égales à 30% des pertes de charges linéaires Δp_l entre les points A et B.
- La limite minimale apparente d'élasticité est $Re_{min} = 335$ MPa.
- Le coefficient de sécurité est $s = 3$.
- L'intensité du champ de pesanteur est $g = 10$ N/Kg.

EXERCICE 2:

Dans une installation de transmission de puissance hydraulique d'un engin de travaux public, une pompe à pistons radiaux débite réellement 200 l/min pour une pression de sortie de 200 bars et celle de l'entrée 0 bar.

Cette pompe est entraînée par un moteur thermique tournant à la fréquence de 3500 trs/min et donnant un moment de couple à l'arbre moteur de 200 Nm.

La transmission du mouvement du moteur vers la pompe est assurée par un engrenage de rapport de réduction η_r égale à 0,6.

On suppose que la transmission du mouvement se fait sans perte de puissance.

Le débit des fuites est estimé égal à 0,2 % du débit réel.

* Partie 1 : Etude de la pompe :

1. Calculer le débit moyen théorique (m^3/s), déduire le rendement volumétrique de cette pompe.
2. Calculer la fréquence de rotation de l'arbre d'entraînement de cette pompe (tr/s), déduire sa cylindrée.
3. Calculer la puissance hydraulique de cette pompe (W).
4. Calculer le couple au niveau de l'arbre d'entraînement de cette pompe (Nm).
5. Calculer le rendement global de cette pompe, déduire son rendement mécanique.
6. Calculer la pression de refoulement théorique de cette pompe (Pa), déduire la chute de pression due aux fuites.

* Partie II : Dimensionnement du vérin :

7. Sachant que la pompe produit la pression pour fonctionner un vérin double effet, et que la longueur de la conduite entre la sortie de la pompe et l'entrée de la chambre arrière du vérin est $L = Z_e - Z_s = 6\text{m}$, déterminer la pression de l'huile à l'entrée du vérin.
8. Sachant que le diamètre intérieur du bloc du vérin est $D = 110\text{ mm}$, déterminer la force développée par le vérin.
9. Sachant que la tige du vérin est fabriquée en acier C35, déterminer le diamètre minimal d_{\min} qui permet à cette tige de soulever une charge de 20 tonnes.
10. Proposer une solution pour fonctionner le vérin avec la même vitesse quelque soit la valeur de la charge à soulever (donner le symbole normalisé de cette solution).

On donne : - La viscosité cinématique de l'huile est $\nu = 30\text{ mm}^2/\text{s}$.

- La masse volumique de l'huile est $\rho = 930\text{ Kg/m}^3$.

- Le diamètre de la conduite est $d = 15\text{mm}$.

- Les pertes de charges singulières totales entre la sortie de la pompe et l'entrée du vérin sont $\Delta p_{st} = 1,5\text{ bars}$.

- La limite minimale apparente d'élasticité est $Re_{\min} = 335\text{ MPa}$.

- Le coefficient de sécurité est $s = 3$.

- L'intensité du champ de pesanteur est $g = 10\text{ N/Kg}$.

* Exercice 3:

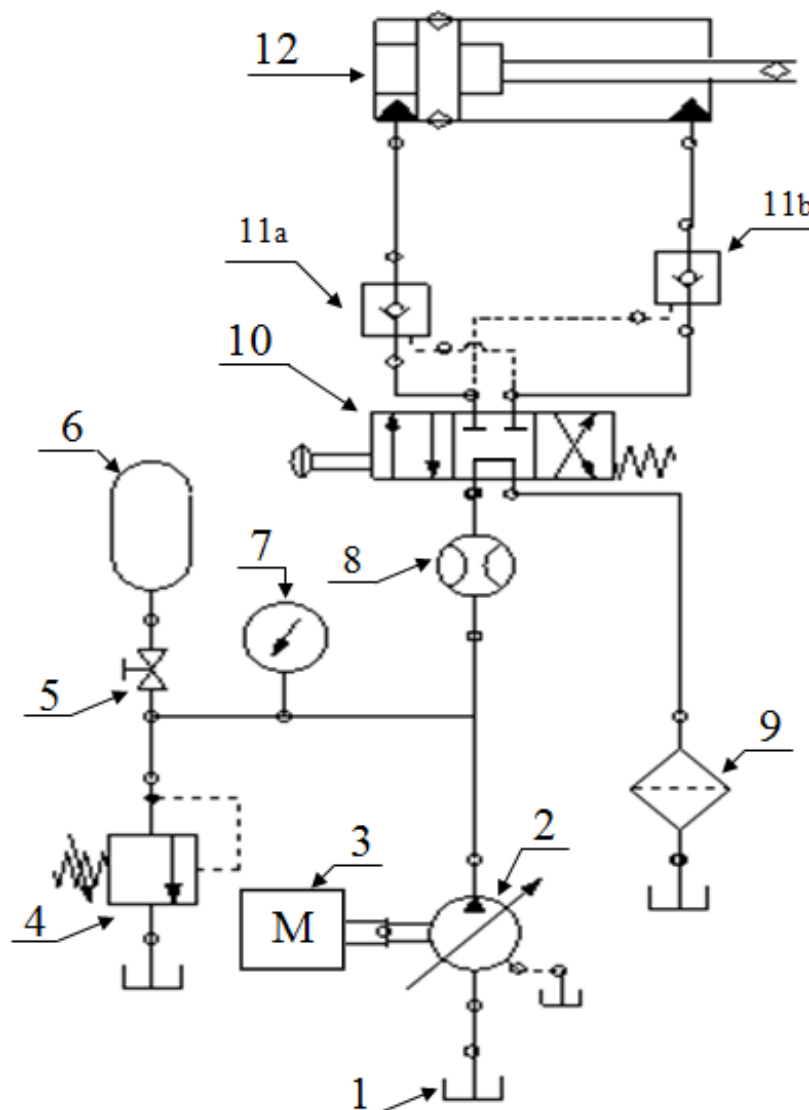
Le schéma ci-dessous représente le circuit d'une installation hydraulique utilisée pour commander un vérin. On vous demande de :

1. Identifier les différentes composantes hydrauliques utilisées dans cette installation (**les noms des composantes doivent être donnés selon la désignation normalisée**).
2. Décrire le fonctionnement de cette installation pour chaque position du distributeur.
3. Donner les différents types des centres des distributeurs et leurs représentations normalisées. Préciser l'utilité du centre tandem.
4. Lorsque la tige du vérin est totalement sortie, donner la position du tiroir pour chacun des organes 11a et 11b. Justifier votre réponse.
5. Sachant que la pression mesurée à l'entrée du vérin est $p_2 = 9\text{ bars}$ et à l'entrée de la conduite d'aspiration est $p_1 = 0\text{ bars}$, et en se référant aux données ci-dessous, on vous demande de :
 - a. Déterminer le régime d'écoulement dans les conduites.
 - b. Calculer les pertes de charge totale dans la conduite d'aspiration Δp_{t1} , et dans la conduite de refoulement Δp_{t2} .
 - c. Calculer les pressions respectivement mesurées à l'entrée de la pompe p_e et à la sortie p_s .
 - d. Déduire la puissance hydraulique délivrée par la pompe.
 - e. Sachant que les raccords de l'entrée et la sortie de la pompe sont horizontaux, déterminer les pertes de charge totale entre ces deux raccords.

g. Déduire la puissance mécanique délivrée à la pompe.

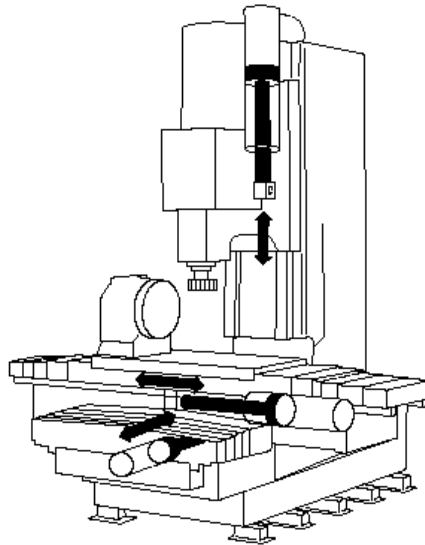
On donne :

- + La longueur de la conduite d'aspiration $L_1 = 2$ m.
- + La perte de charge singulière totale dans la conduite d'aspiration est $\Delta p_{s1} = 0,5$ bars.
- + La longueur de la conduite de refoulement $L_2 = 5$ m.
- + La perte de charge singulière totale dans la conduite de refoulement est $\Delta p_{s2} = 1,5$ bars.
- + Les deux conduites admettent une section circulaire de diamètre $d = 15$ mm.
- + La cylindrée réelle de la pompe est $C_{yl} = 0,1$ litre/tr.
- + Le rendement volumétrique de la pompe est $\eta_v = 0,9$.
- + Le rendement global de la pompe est $\eta_G = 0,6$.
- + La fréquence de rotation de la pompe est $N = 2000$ tr/mn.
- + La viscosité cinématique de l'huile hydraulique est $\nu = 30$ mm²/s.
- + La masse volumique de l'huile est $\rho = 930$ Kg/m³.
- + L'intensité du champ de pesanteur est $g = 10$ m/s².



EXERCICE 4:

La machine-outil (fraiseuse) industrielle, représentée ci-dessous, est commandée avec l'énergie hydraulique. La commande des trois chariots, verticale, longitudinale et transversale s'effectue respectivement grâce aux vérins hydrauliques doubles effet V1, V2 et V3.



1. Calculer les vitesses de sortie maximales v_1 , v_2 et v_3 respectivement des vérins V_1 , V_2 et V_3 .
2. Calculer les vitesses de rentrée maximales v_1 , v_2 et v_3 respectivement des vérins V_1 , V_2 et V_3 .
3. Calculer la puissance que doit fournir le moteur afin qu'il puisse faire fonctionner la machine dans le cas le plus défavorable. En déduire le couple moteur $C_m \text{ Maxi}$.
4. Calculer la force maximale que peut supporter chaque vérin.

On donne:

$p_{\text{max ad}}(\text{pompe1}) = 190 \text{ bar}$, Cylindrée (1) = $30 \text{ cm}^3/\text{tr}$ et $\eta_g = 90 \%$.

$p_{\text{max ad}}(\text{pompe2}) = 150 \text{ bar}$, Cylindrée (2) = de 0 à $20 \text{ cm}^3/\text{tr}$ et $\eta_g = 85 \%$.

$p_{\text{max ad}}(\text{pompe3}) = 120 \text{ bar}$, Cylindrée (3) = de 0 à $24 \text{ cm}^3/\text{tr}$ et $\eta_g = 80 \%$.

$N_m = 1450 \text{ tr/mn}$, V_1 : $D_1 = 90 \text{ mm}$, $d_1 = 45 \text{ mm}$; V_2 : $D_2 = 70 \text{ mm}$, $d_2 = 30 \text{ mm}$; V_3 : $D_3 = 70 \text{ mm}$, $d_3 = 30 \text{ mm}$.

On suppose que la pression d'aspiration des pompes est égale à zéro : $p_{\text{asp}} = 0 \text{ bar}$.